

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Костина Анастасия Сергеевна

Выпускная квалификационная работа

**ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
В США И КИТАЕ**

Направление 05.03.02 «География»

Основная образовательная программа СВ.5019.2016 «География»

Профиль «Экономическая и социальная география»

Научный руководитель:

Кандидат географических наук, доцент

Шелест Ксения Дмитриевна

Рецензент:

Шалунова Екатерина Петровна

Заместитель руководителя

Ассоциация в сфере экологии и окружающей среды «Раздельный сбор»

Санкт-Петербург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	6
1.1. История изучения и использования энергии солнца	6
1.2. Способы использования энергии солнца	8
1.3. Преимущества и недостатки солнечной энергетики	11
1.4. Нормативно-правовая база применения солнечной энергетики.....	13
1.5. Территориальная организация распределения солнечной энергетики.....	18
ГЛАВА 2. РАЗВИТИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В США	23
2.1. Предпосылки для развития отрасли солнечной энергетики в США.....	23
2.2. Крупнейшие компании и инвестиции в солнечную энергетику в США.....	29
2.3. Научно-исследовательские разработки в области солнечной энергетики в США	32
ГЛАВА 3. РАЗВИТИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КИТАЕ	34
3.1. Предпосылки для развития отрасли солнечной энергетики в Китае.....	34
3.2. Крупнейшие компании и инвестиции в солнечную энергетику в Китае	39
3.3. Научно-исследовательские разработки в области солнечной энергетики в Китае	40
ГЛАВА 4. ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В США И КИТАЕ	43
4.1. Региональные особенности размещения солнечных электростанций в США и Китае.....	43
4.2. Проблемы и перспективы развития и внедрения солнечной энергетики в США и Китае (на основе SWOT-анализа).....	50
4.3. Перспективные направления развития и внедрения солнечной энергетики для России	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
ЛИТЕРАТУРА	59
ПРИЛОЖЕНИЯ	64

ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии сегодня приобретают всё больший вес в структуре топливного баланса многих стран мира. Они стали актуальной альтернативой традиционным источникам, к которым относятся нефть, газ и уголь. Уже в XX веке человечество осознало проблемы, имеющие в своей основе неразумную и чрезмерную эксплуатацию месторождений. По оценкам некоторых экспертов мы уже прошли пик добычи по разным видам топлива либо стали чрезвычайно близки к этому. Если обратиться к истории, будет заметно, как на протяжении веков замещались основные источники энергии. Человечество прошло эру использования дерева в качестве источника, перешло на уголь, а после него на нефть и газ. Однако не раз уже случались энергетические кризисы, связанные с политическими и экологическими причинами, и наиболее острые из них показали необходимость диверсификации топливного баланса и переход к альтернативным источникам. Вопрос об альтернативе становится всё острее, и на данном этапе развития, когда наука и технология активно развиваются, представилась возможность использовать возобновляемые источники в энергетике.

Движущей силой для внедрения новых технологий является не только истощаемость традиционных ресурсов, но также экологическая безопасность. Влияние вредных выбросов CO₂ и других веществ в атмосферу на глобальное изменение климата будет ещё долго изучаться учёными разных стран и научных школ, однако нельзя не признать тот факт, что человечество наносит колоссальный урон экосистеме всей планеты. Природная среда чрезвычайно сложна, и последствия неразумных действий человека трудно смоделировать, а порой они и вовсе оказываются непредсказуемы. Потому следует задуматься об этом на раннем этапе, когда ещё существует возможность изменить ситуацию к лучшему. Возобновляемые источники энергии – не единственный, но действенный способ снизить вредное влияние традиционных.

Развитие солнечной энергетики в мире представляется особенно перспективным. С каждым годом потребность в электроэнергии всё больше растёт, и наряду с традиционными источниками возможно использование альтернативных. Освоение возобновляемой энергетики означает решение таких задач как улучшение экологической ситуации, электроснабжение районов, удаленных от основной энергетической системы, регулирование тарифов на электроэнергию и другие.

Актуальность темы исследования заключается прежде всего в том, что развитие возобновляемых источников энергии в мире – приоритетное направление XXI века,

поскольку человечество на данном этапе владеет технологиями, позволяющими реализовывать данные проекты. В рассматриваемых странах - США и Китае - продолжает формироваться рынок солнечной энергетики, они являются ведущими в мире, и их пример может послужить хорошей базой для внедрения альтернативных источников в России.

Целью данной работы стало выявление особенностей развития и внедрения солнечной энергетики в США и Китае, как ведущих странах в данной отрасли энергетики, а также выделении факторов, влияющих на успешность реализации проектов в разных регионах.

В соответствии с целью были поставлены следующие **задачи**:

- Определить наиболее перспективные виды использования солнечной энергии
- Выявить правовые и организационные особенности развития солнечной энергетики в США и Китае
- Выявить технико-экономические особенности солнечно-энергетических комплексов в США и Китае
- Выделить региональные особенности территориальной организации размещения солнечных электростанций в США и Китае
- Дать оценку реализации успешных примеров использования солнечной энергетики
- Рассмотреть проблемы и перспективы развития солнечной энергетики

Объект исследования – предприятия солнечной энергетики в США и Китае

Предмет исследования – особенности формирования системы солнечной энергетики в США и Китае.

В ходе написания работы использовались следующие научные **методы**:

- аналитический и сравнительно-географический методы,
- картографический метод,
- статистический метод,
- метод SWOT-анализа

Структура работы включает введение, 4 главы, заключение, список использованной литературы, приложения (таблицы).

Теоретической и методологической основой исследования послужили работы в области возобновляемой энергетики кандидата географических наук В.В.Акимовой, доктора технических наук, специалиста в области энергетики Салыгина В.И., работы китайских и американских авторов. Источниками статистической информации послужили данные Международного энергетического агентства, Управления по энергетической информации США, Международного агентства по возобновляемой энергетике. В дополнение к данным источникам также использовались информационно-аналитические отчёты агентств по энергетике, данные отчётов департаментов (национальных министерств) США и Китая.

Практическая значимость работы состоит в том, что применение данного исследования, а также рекомендации могут быть полезны для корректировки и совершенствования государственными структурами деятельности по развитию солнечной энергетики в России, для планирования частными организациями своей коммерческой и инвестиционной деятельности как за рубежом, так и в нашей стране. Прогнозирование рынка фотоэлектрических технологий во всем мире требует понимания действий политиков в ключевых странах, которыми на 2020 год являются Китай и США.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

1.1. История изучения и использования энергии солнца

Солнце – главный источник энергии для жизни на нашей планете. Наблюдая за небесным светилом, уже в древности люди накопили знания, необходимые для первых опытов использования солнечной энергии во благо человека. В Древнем Китае в эпоху неолита люди строили свои дома таким образом, чтобы отверстия в стенах, заменявшие окна, были обращены на юг. Лучи низкого зимнего солнца попадали в помещение и обогревали его. Основоположником идеи использования солнца для получения энергии в Европе считается древнегреческий философ Сократ. В Римской империи использование энергии Солнца регулировалось законодательно: следовало размещать дома с ориентацией на юг, препятствование этому считалось правонарушением (Акимова, 2018).

Существует предположение о применении металлических зеркал, концентрировавших отражённые лучи на судах противника для последующего их возгорания. Согласно древним источникам так был атакован флот римлян в Сиракузах в 214 г. до н.э. Практика применения солнечной энергии в древности в основном связана с использованием различных фокусирующих устройств, таких как зеркала или линзы (Германович, 2014). Та же технология использовалась в Средневековье. Опыты с зеркалами ставили французский философ и естествоиспытатель Ж.Бюффон, швейцарский учёный О.Соссюр. 1615 год считается годом изобретения солнечного насоса. В начале XIX века начали ставить эксперименты по определению интенсивности солнечной радиации – солнечной постоянной. Д.Гершелем и К.Пулье независимо друг от друга был изобретён актинометр – прибор для измерения количества солнечной энергии. В 1839 году А.Беккерель открыл фотогальванический эффект (Удалов, 2014). В конце XIX века во Франции были построены первые солнечные установки, преобразовывавшие солнечную энергию в механическую. Изобретателем О.Мушо на Всемирной выставке в Париже был представлен аппарат, который при помощи зеркал фокусировал лучи на паровом котле. Технологии, изобретённые в Европе, начали активно применяться в США. В 1912 году была построена первая в мире солнечная электростанция, которая долгое время считалась крупнейшей.

Создание первой в мире солнечной опреснительной установки в Лас Салинасе имеет предпосылки экономического характера – проблема обеспечения большого количества

питьевой воды. В 1883 году Чарльз Фриттс создал первый фотоэлектрический преобразователь с КПД менее 1% (Пачурин, 2017).

Идея солнечного отопления помещений принадлежит профессору Е.С.Моурсу. Она заключалась в нагревании воздуха от пластин чёрного шифера, помещённых под стеклом и установленных на солнечной стороне здания. Это устройство можно назвать аналогом плоского солнечного коллектора, который в наши дни используется для нагрева материала-теплоносителя. В начале XX века размеры солнечных двигателей увеличились, делались попытки слежения за солнцем и оптимизации работы оборудования в соответствии с ним. В то время мощность установок не превышала 20 кВт. Тогда же началось первое промышленное производство солнечных коллекторов, поскольку на них был спрос в Калифорнии и Флориде.

На 40-е годы XX века пришлось возрождение интереса к использованию солнечной энергии после многих лет забвения. Первый большой симпозиум по использованию энергии ветра и солнца состоялся в Нью-Дели в 1954 году (Мак-Вейг, 1981). Это событие положило начало проведению международных конференций и симпозиумов по возобновляемой энергетике. Для взаимодействия между странами была создана Ассоциация по применению солнечной энергии, ставшая впоследствии Международным обществом по солнечной энергии (ISES).

С 1950-х годов произошли изменения в технологии: на смену селену в солнечных модулях пришёл кремний, был создан фотоэлемент с КПД около 6%. В дальнейшем первенство по развитию солнечной энергетики было за военными, поскольку началась космическая гонка. В 1973 году состоялась конференция ЮНЕСКО «Солнце на службе человечества». После нефтяных кризисов 1973 г., 1979-1980 гг. во многих странах мира были пересмотрены энергетические стратегии, правительства пришли к выводу о необходимости диверсификации источников энергии, и солнечная энергетика снова оказалась в фокусе внимания. К тому времени КПД уже успел увеличиться до приемлемого уровня. В этот период фотогальванические установки получили распространение в труднодоступных районах, не подключённых к единой национальной энергосети. Пионером в массовом строительстве солнечных электростанций (как фотогальванической технологии, так и концентрирующей) стали США. В 90-е годы произошло формирование нормативно-правовой базы солнечной генерации. Основную роль здесь сыграли Европейский Союз и Япония. Первое серийное производство солнечных модулей в Европе было запущено в 1987 году.

В 2000-х цена на традиционные энергоресурсы возросла, и солнечная энергетика получила дополнительный стимул к развитию (Удалов, 2014). Особое внимание стало уделяться фотогальванике. Лидером долгое время являлась Германия, на которую приходилось до 43% суммарных мировых установленных мощностей.

Среди российских учёных, занимавшихся проблемами солнечной энергетики, можно выделить следующие имена: В.И.Виссарионов, Г.В.Дерюгина, Д.С.Стребков (Виссарионов, 2008). В основном солнечная энергетика изучается с технической стороны, и экономико-географических исследований не так много. Необходимо отметить работы В.В.Акимовой как одного из основных географов-исследователей солнечной энергетики стран мира. Из трудов зарубежных исследователей стоит упомянуть работу Р.Перника и К.Уайлда «The Clean Tech Revolution» (Pernick, 2007), где обозначены 6 основных драйверов развития «зелёных» технологий: капитал, конкуренция, цены, спрос на энергоресурсы, потребители, климат и связность.

1.2. Способы использования энергии солнца

В настоящее время сформировались следующие направления использования энергии Солнца:

- Отопление зданий промышленного и бытового назначения
- Горячее водоснабжение
- Холодильные установки
- Кондиционирование воздуха
- Гелиосушительные установки
- Производство электрической энергии

Наиболее развитыми и перспективными как для частного, так и для промышленного использования можно считать 3 основных направления (отопление и 2 способа генерации электроэнергии).

Фотовольтаика (Photovoltaics - PV), также часто просто называемая солнечными элементами, использует электронные устройства, которые напрямую преобразуют солнечный свет в электричество. Принцип действия основывается на использовании внутреннего фотоэффекта. Чувствительность фотоэлементов зависит от длины волны падающего света и прозрачности верхнего слоя элемента. Теоретически эффективность

элементов кремниевой технологии может составлять 28%, практически – около 20% (Пачурин, 2017). При соединении солнечные элементы образуют солнечные батареи. Солнечные фотоэлектрические установки могут быть объединены для обеспечения электроэнергией в коммерческом масштабе или могут быть расположены в небольших конфигурациях для мини-сетей или для личного использования. Использование солнечной фотоэлектрической энергии для питания мини-сетей является отличным способом обеспечить доступ к электричеству людям, которые не живут вблизи линий электропередач. Во многих странах мира есть целые области, не подключенные к единой энергосистеме, и фотоэлектрические установки могли бы стать альтернативой традиционной энергетике.

Стоимость производства солнечных панелей резко упала за последнее десятилетие, что делает их не только доступной, но и зачастую самой дешевой формой электроэнергии. Срок службы солнечных батарей превышает 20 лет. Практика Европы и США показала, что на электростанциях, работающих около 25 лет, происходит снижение мощности модулей на 10%. В действительности можно говорить о реальном сроке службы 30 и более лет для монокристаллических модулей, 20 и более – для поликристаллических, от 7 до 20 лет – для тонкоплёночных второго поколения (Германович, 2014). Второе поколение включает тонкоплёночные элементы с комбинацией аморфного кремния и полупроводниковых материалов, в частности, теллурида кадмия. Несмотря на быстро уменьшающуюся стоимость фотоэлектричество наиболее зависимо от благоприятных экономических условий на рынке (Удалов, 2014).

Если сравнивать различные технологии фотоэлементов (ФЭП), то наиболее экологичными являются ФЭП 3-го поколения на основе дешёвых и перерабатываемых полимеров и электролитов. Подложками в таких элементах могут служить полимерные плёнки, например, на основе фуллеренов. Однако минус условно экологически чистых технологий – низкие по сравнению с кремниевой технологией показатели преобразования, достигающие лишь $\frac{1}{4}$ показателей первой (Акимова, 2018). Дополнительно такие модули нуждаются в более совершенной технологии защитных покрытий. На смену кремнию в скором времени может прийти материал перовскит (титанат кальция), поскольку эффективность преобразования выше (КПД до 27%), спектр преобразуемого света значительно шире.

Прямая тепловая энергия, солнечное отопление (т.н. прямое тепловое) является еще одним типом солнечной технологии. Эти системы, такие как водонагреватели для дома или бассейна, используют солнечную энергию непосредственно в качестве источника

тепла. Прямые тепловые системы также могут обогревать жилые и рабочие помещения, что значительно сокращает расходы на коммунальные услуги. Таким образом, системы, основанные на преобразовании энергии солнца, могут использоваться для отопления и горячего водоснабжения. Здесь применяются солнечные коллекторы (гелиосистемы), превращающие энергию Солнца в тепловую.

Концентрированная (гелиотермальная) солнечная энергия (Concentrated solar power - CSP) в общем виде использует зеркала для концентрации солнечных лучей. Существует 3 типа таких электростанций: башенный, параболический (лотковый) и тарелочный.

В башенном типе электростанции имеется центральный приёмник-парогенератор, на поверхности которого концентрируется солнечное излучение от плоских зеркал-гелиостатов. Поскольку здесь используется прямое солнечное излучение, концентрирующие станции должны иметь систему слежения за Солнцем. Мировая практика показала эффективность данной технологии, однако можно выделить недостатки, к которым относятся высокая стоимость и значительная площадь. Так, для размещения башенной электростанции мощностью 100 МВт может потребоваться площадь более 1,9 км².

В электростанциях параболического типа используются параболические зеркала (лотки), концентрирующие солнечную энергию на приемных трубках, которые расположены в фокусе конструкции и содержат в себе жидкостный теплоноситель. При проходе жидкости через теплообменники вырабатывается пар, с помощью которого приводится в действие турбогенератор для выработки электричества. Удельная стоимость подобной станции близка к удельной стоимости АЭС.

Третий тип, тарелочный, использует параболические тарелочные зеркала, которые фиксируют солнечную энергию на приемнике, расположенном в фокусе каждой тарелки. Жидкость в приемнике нагревается до 1000°C и ее энергия используется для выработки электрической энергии либо в двигателе Стирлинга, либо в установке, работающей по циклу Брайтона¹. Стоимость такой электростанции меньше, чем у первых двух типов, однако и энергии она вырабатывает меньше.

Концентрирующие солнечные электростанции эффективны в районах с высоким уровнем солнечной радиации и малой облачностью, КПД достигает 20%. Преимуществом

¹ «Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире» // [Электронный ресурс]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-1/2-1-2> (дата обращения: 04.11.2019)

концентрирующей солнечной энергетики является отсутствие потребности в дорогих фотовольтаических материалах, поэтому данная технология может быть перспективной для развивающихся стран.

1.3. Преимущества и недостатки солнечной энергетики

На поверхность Земли в течение года поступает солнечная энергия, эквивалентная энергии, заключённой в $1,2 \cdot 10^{14}$ т у.т., что значительно превышает запасы органического топлива ($6 \cdot 10^{12}$ т у.т.) (Финиченко, 2017). Сейчас, в связи с развитием технологий, появились широкие возможности данную энергию использовать. Солнечная энергетика среди возобновляемых источников энергии по масштабам ресурсов и экологической чистоте наиболее перспективна. Несмотря на то, что на неё возлагаются большие надежды, она имеет ряд недостатков, которые требуют рассмотрения.

Главный недостаток солнечной энергетики – низкий КПД. Плотность излучения в расчете на единицу площади приемника небольшая, что затрудняет ее эффективное использование (Германович, 2014). Решение проблемы – совершенствование технологий. По мере роста спроса на электростанции появляются модификации, способствующие росту КПД. Существуют несколько направлений его повышения. Первое - создание многослойных панелей. Такие конструкции состоят из набора материалов, расположенных слоями. Слой с одним материалом поглощает один вид энергии, со вторым – другой и так далее. В результате можно создавать солнечные батареи с высоким КПД. Теоретически такие многослойные панели могут обеспечить КПД до 85%. На практике возникают проблемы: модули слишком дороги в изготовлении. Другой способ увеличения КПД – изменение типа кремния, используемого в фотоэлементах. Что касается данного элемента, то он является вторым по распространённости на Земле. Кремний имеет исключительно важное значение для современной электроники, этот металл может быть получен разными способами. В данной области не следует ожидать сильного удорожания производства. Третий путь – внедрение в конструкцию солнечных батарей системы слежения за солнцем. В зависимости от положения солнца система автоматически меняет угол наклона панелей. Основная проблема в реализации данного решения – высокая стоимость. Проблема сопутствующая – износ подвижных элементов конструкции, более частый ремонт.

Второй недостаток солнечной энергетики – зависимость от погодных условий и времени суток, как следствие – возможные перерывы в работе и необходимость использования других источников энергии в неблагоприятный период, т.е. дублирование. Причины этого

разнообразны. Во-первых, поток солнечного излучения неодинаков по широтам, максимум приходится на экваториальную область. Во-вторых, существенное влияние оказывает угол наклона солнца над горизонтом, неодинаковый в разные сезоны года (Пачурин, 2017). В-третьих, смена дня и ночи также влияет на количество поглощённой солнечной энергии. Кроме того, следует избегать затенённости. Решение проблемы – выбор оптимального места размещения электростанций с учётом природных и социально-экономических факторов.

Третий недостаток – вопрос аккумуляции энергии. Эта проблема одна из самых сложных и наиболее дорогих в решении. Она могла бы помочь преодолеть суточные ритмы, когда ночью производство энергии фактически прекращается и необходимо дублирование другим источником.

Необходимость выделения больших площадей – четвёртый недостаток. Квадратный метр современных фотоэлементов обеспечивает выработку до 20% от мощности солнечного излучения, попадающего на него при самых благоприятных условиях. Солнечное излучение на поверхности Земли – рассеянная энергия, которая во много раз меньше, чем подобная удельная энергия на 1 м² полезной площади в традиционных ТЭС и, тем более, АЭС. Для создания мощных системных СЭС, в связи с этим, требуются площади больше, чем для ТЭС и АЭС аналогичной мощности.

Один из важных негативных моментов – вред, наносимый окружающей среде при производстве солнечных панелей. Солнечные элементы содержат такие ядовитые вещества, как свинец, мышьяк, кадмий, галлий. Основная проблема – отсутствие приемлемого, с экологической точки зрения, способа их утилизации (Пачурин, 2017). Кроме того, недостаточно изучено влияние панелей на организм людей, как тех, что используются в распределённой энергетике, так и тех, что поставляют энергию с больших СЭС в единую сеть.

Среди преимуществ – отсутствие вредного воздействия на окружающую среду при работе электростанции: шумового, радиоактивного, химического загрязнения. Немаловажным является тот факт, что по мере роста использования солнечной энергетики снижается зависимость от поставок топлива из других стран. Для внутри странового потребления играет роль независимость от поставщиков электричества, и, как следствие, экономия средств.

Существенным «плюсом» гелиосистем до недавнего времени было отсутствие подвижных механических частей, что делало их долговечными и надёжными, однако на 2019 год

сконструированы системы, способные менять положение в зависимости от солнца, благодаря чему обеспечивается большая эффективность, но вместе с тем понижается износостойкость.

1.4. Нормативно-правовая база применения солнечной энергетики

Международное законодательство

В данный момент в мире на развитие энергетики влияют следующие процессы: усиление конкуренции между энергокомпаниями, поддерживаемое правительствами стран и их ассоциациями, с одной стороны, и создание центров межгосударственного взаимодействия в области региональной и глобальной энергетической политики, с другой. Межгосударственное взаимодействие необходимо в виду стремления стран не допустить недобросовестную конкуренцию, а также учесть риски и угрозы для энергетической безопасности.

На развитие возобновляемых источников энергии существенно повлияли программы ООН, принятые еще в XX веке. В 1992 году была принята Рамочная Конвенция ООН по изменению климата, в которой говорилось о негативном влиянии выбросов парниковых газов на окружающую среду. В 1997 году был подписан Киотский протокол, который предусматривал введение количественных квот на выброс в атмосферу углекислого газа. В 2002 году состоялся Всемирный саммит (Саммит Земли) по устойчивому развитию, на котором рассматривались такие вопросы как энергоэффективность, доступ к энергоресурсам, возобновляемые источники энергии (Седова, 2019). В 2015 году было принято Парижское соглашение об изменении климата. Все эти документы способствовали принятию решений о расширении использования возобновляемых источников энергии. Кризисное состояние окружающей среды и растущая потребность в электроэнергии предопределили необходимость широкого использования ВИЭ.

В рамках ЭКОСОС (Экономический и социальный совет ООН) осуществляется программа технического сотрудничества в области использования возобновляемых источников энергии. Европейская экономическая комиссия ООН в 2014 году разработала план мероприятий по поддержке инициативы «Устойчивая энергетика для всех». Ключевым агентом по обеспечению международно-правового регулирования в области энергетики является Международное энергетическое агентство (МЭА). Оно продвигает использование ВИЭ, способствует международной кооперации. Главный международный институт, содействующий развитию ВИЭ и, в частности, солнечной энергетики –

Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA). Оно функционирует с 2009 года, членами организации являются 130 стран.

Энергетика – это отрасль, чрезвычайно важная для государства. В связи с этим, независимо от форм собственности энергокомпаний, государство жёстко регулирует топливно-энергетический комплекс (ТЭК). Вопрос об обеспечении энергетической безопасности – ключевой, поэтому необходимо избегать зависимости от поставщиков сырья и по возможности максимально диверсифицировать данную отрасль. Политика в области ВИЭ и, в частности, солнечной энергетики нуждается в стратегии, в которой освещены следующие направления: энергия, окружающая среда, занятость населения, налогообложение, конкуренция, научные исследования и разработки, региональные и внешние отношения (Удалов, 2014). Конкурентоспособность ВИЭ без значительных мер поддержки государства на данном этапе развития весьма сомнительна. Велика роль традиционных источников, и они по сей день остаются ведущими. Поэтому для ВИЭ в целом и для солнечной энергетики, в частности, должна существовать нормативно-правовая база и должна проводиться грамотная политика, чтобы «зелёные» технологии имели успех.

Законодательство в области солнечной энергетики в США

Политика в области энергетики в США управляется Министерством энергетики (DOE). В США в рамках министерства создано управление по энергоэффективности и возобновляемым источникам энергии (The office of Energy Efficiency and Renewable Energy или EERE). Его миссия – поддержание лидерства США в процессе перехода к глобальной экономике чистой энергии. EERE создано в 1973 г. после энергетического кризиса. До этого делался акцент на солнечной энергии, и агентство называлось Управлением по сохранению и применению солнечной энергии (CSA). EERE осуществляет надзор за управлением и работой Национальной лаборатории возобновляемой энергии и обеспечивает финансирование 12 национальных лабораторий Министерства энергетики США. Годовой бюджет Бюро EERE определяется ежегодными ассигнованиями Конгресса. Средства распределяются между 11 программами и инициативами EERE, а также идут на функционирование самой организации. Бюджет составляет от 1,5 до 3 млрд млрд \$ в год. EERE работает по следующим направлениям: рекомендации по совершенствованию индустрии автомобильного транспорта (снижение затрат на производство биотоплива и водорода, т.е. поддержка альтернативных видов топлива), по выработке энергии из возобновляемых источников (снижение стоимости такой энергии), повышению энергоэффективности производств (введение минимальных

стандартов энергоэффективности, интеграция чистой энергии в устойчивую электросеть). Соответственно, организационная структура включает 3 технологических сектора: устойчивый транспорт, возобновляемые источники энергии и энергоэффективность, которые, в свою очередь, состоят из 11 технологических офисов².

В 2009 году для финансирования НИОКР в области энергетики в рамках Департамента энергетики США было создано Агентство передовых исследований в области энергетики (ARPA-E). Проекты финансируются государством, частным сектором и университетами. Агентство не оказывает помощь в модернизации технологий (эта функция принадлежит EERE и DOE), главная цель – вложения в проекты с высоким риском, где промышленность не может проводить исследования самостоятельно, таких, как солнечная энергетика, полупроводники и технологии хранения энергии.

Регионы США являются лидерами в принятии решений по политике в области солнечной энергетики, поскольку нет единой национальной энергетической стратегии³. Законодательные органы штатов могут финансировать новые программы, инициативы или вводить стимулы. Энергетические офисы штатов контролируют программы, которые обеспечивают финансовые стимулы для использования солнечной энергии посредством грантов, займов и налоговых льгот.

На федеральном уровне разработана система налоговых кредитов (Solar Investment tax credit – ITC), впервые введённая в 2006 году, в 2015 году период действия был продлён до 2023 года. Сейчас кредит составляет 30%, после 2020 года он будет снижен⁴.

Законодательство в области солнечной энергетики в Китае

Наиболее важным органом, регулирующим политику в области возобновляемых источников энергии в Китае, является Национальная комиссия по развитию и реформам (NDRC). В рамках NDRC Национальная энергетическая администрация (NEA), созданная в 2008 году, отвечает за разработку и реализацию политики в области возобновляемых источников энергии. Правительства провинций также имеют свои собственные комиссии

² Office of Energy Efficiency and Renewable Energy // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energy.gov/eere/> (дата обращения: 27.02.2020)

³ National Conference of State Legislatures // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncsl.org/research/energy/solar-policy-toolbox.aspx> (дата обращения: 11.03.2020)

⁴ Глобальный рынок возобновляемой энергетики // [Электронный ресурс]. URL: <http://renewnews.ru/usa/> (дата обращения: 06.03.2020)

по развитию и реформированию, которые разрабатывают и осуществляют местную политику, иногда противоречащую политике, разработанной централизованно.

Другие важные государственные субъекты отношений внутри отрасли – «большая пятёрка» государственных энергетических компаний (Huaneng, Datang, Huadian, Guodian и State Power Investment Corporation) и две сетевые компании State Grid и Southern Grid. Для оптимизации структуры энергетической отрасли китайскими властями проводятся слияния крупнейших угледобывающих компаний и генерирующих с последующей диверсификацией их деятельности. В 2017 году произведено слияние Shenhua и Guodian. На вновь образованную корпорацию приходится 23% мощностей ВИЭ в стране⁵, планируется слияние Huaneng и State Power Investment Corp (SPIC). Конечная цель – создать суперхолдинги, способные оградить отрасль от разнообразных рисков. State Grid является ключевым действующим лицом в истории перехода к возобновляемой энергии в Китае. Точное прогнозирование энергопотребления и реализация прогноза имеют решающее значение для оптимизации распределения электроэнергии из ВИЭ. Основная проблема для Китая в области солнечной генерации - проекты, осуществляемые энергетическими государственными предприятиями, имеют тенденцию формировать энергетическую политику страны, а не наоборот.

Что касается нормативно-правовой базы, то производство энергии от Солнца регулируется Законом о возобновляемых источниках энергии, вступившим в силу в 2006 году, поправки были приняты в 2010 году (Jager-Waldau, 2009). К примеру, в 12-м пятилетнем плане на 2015 год установленная мощность фотовольтаики должна была составить 21 ГВт, однако в действительности она оказалась в 2 раза больше. Основными разделами в законе от 2006 года являются достижение определенной установленной мощности к 2015, 2020 году, обязательные доли рынка, тарифная система и принцип распределения затрат путём создания фонда для развития возобновляемой энергии посредством повышения цен на электроэнергию для бытовых потребителей (как это было сделано в Германии). Согласно закону, коммунальные предприятия обязаны покупать всю возобновляемую энергию, даже если нет достаточного энергопотребления. Планирование использования ВИЭ должно соблюдаться на местном уровне в полной мере (цели, сроки, подключение к сети, системы обслуживания и меры поддержки). Наиболее важная мера, прописанная в данном законе – льготный тариф. В 2013 году страна была разделена на 3

⁵ Bloomberg New Energy Finance // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bloomberg.com> (дата обращения: 16.03.2020)

тарифные зоны в зависимости от солнечного ресурса. Период корректировки тарифов больше, чем в других странах и составляет 30 месяцев (Korsnes, 2020). Изначально тариф был разделен на три разные зоны в зависимости от ресурса и был установлен на 0,90, 0,95 и 1,00 юаня/КВт*ч соответственно для централизованной генерации и 0,41 юаня /КВт*ч для распределённой. Постепенно тариф снижается. Для распределённой генерации имеются стимулы в виде субсидирования капитала.

Деньги из Фонда для развития возобновляемой энергии идут на льготные тарифы, затраты на эксплуатацию и обслуживание и затраты на интеграцию в сеть. В мае 2018 года субсидии на фотоэлектрические системы временно прекратились, поскольку проектов стало слишком много, и образовался дефицит на покрытие всех расходов по льготам, равный 112,7 млрд юаней (около 16 млрд \$) (Korsnes, 2020).

Кризис 2008 года поспособствовал сокращению поддержки политики в области фотовольтаики в европейских странах, и экспорт солнечного оборудования из Китая значительно снизился. Принятый незадолго до этого закон о возобновляемой энергетике позволил развивать новую отрасль непосредственно в Китае. На экспорте китайской продукции негативно сказались антидемпинговые расследования, проведённые США и ЕС в отношении Китая в 2011 году. Таким образом, все эти события повлияли на резкий рост ввода мощностей, начиная с 2010 года.

Согласно плану, определяющему развитие возобновляемой энергетики, к 2035 году планируется достичь 1846 ГВт установленной мощности и 2421 ТВт*ч выработки электроэнергии (Табл. 1).

Табл. 1. Цели Китая в области солнечной энергетики до 2035 года.

Категория	14-й пятилетний план	15-й пятилетний план	16-й пятилетний план
Целевая мощность возобновляемой энергии от солнца (ГВт)	536	1118	1846
Цель производства электроэнергии из возобновляемых источников (ТВт*ч)	705	1470	2421

Источник – (China Renewable Energy Outlook, 2019).

Уже сейчас показатели превышают плановые, что нельзя не учитывать при дальнейших разработках программ в сфере солнечной энергетики.

1.5. Территориальная организация распределения солнечной энергетики

Территориальная организация экономико-географических систем изучается уже достаточно давно. Системами могут выступать как большие объекты для исследования, так и объекты более узких областей, в частности, территориально-организационная структура промышленности, т.е. размещение хозяйственных элементов, их сочетания, связи и взаимодействие в пределах определённых регионов. В понятие организации входит не только само расположение предприятий, но также принятие решений о размещении производства и их реализация.

В зарождающемся солнечно-энергетическом комплексе прослеживается тенденция к усилению интеграции между разными секторами экономики и созданию межсекторальных комплексов. В одних странах такие комплексы сформированы, в других – только формируются. «СЭК – сложная межсекторальная система производства различных видов энергии (электрической и иной), её транспортировки, распределения и использования» (Акимова, 2018). Таким образом, сюда включаются разные секторы экономики, начиная от первичного и заканчивая третичным, которые объединены одной главной функцией – производство энергии солнечного происхождения. Рассмотрим подробнее все 3 сектора и вклад каждого в создание солнечно-энергетических комплексов.

К первичному сектору относятся природные ресурсы, используемые в качестве сырья для отраслей вторичного сектора.

К вторичному сектору следует отнести отрасли обрабатывающей промышленности:

- Металлургическая промышленность (производство кремния, опор)
- Химическая промышленность (производство покрытий для фотоэлектрических преобразователей, поликристаллического кремния, выделение соединений)
- Электронная промышленность (производство проводников, микрочипов)
- Стекольная промышленность (производство стекла для концентрирующей солнечной энергетики)
- Энергетическое машиностроение (производство турбин для концентрирующей солнечной энергетики)

- Точное приборостроение (производство приборов для измерения характеристик окружающей среды)
- Производство электрической или тепловой энергии

Третичный сектор, сектор услуг, включает оказание услуг по установке и монтажу солнечных установок, а также мониторингу. Сюда же необходимо включить системы управления и организации процесса выработки энергии, услуги транспортных компаний, рекламных агентств, аудит и прочее.

Солнечно-энергетический комплекс, несмотря на свою многокомпонентность и функциональное единство может также быть подразделён на составные части. Пространственной разобщённости способствуют ряд причин. К географическим причинам следует отнести неравномерность уровня солнечной радиации, поступающей на Землю. Так, концентрированная солнечная энергетика будет более востребована в тропических широтах, поскольку технология работает только на прямом солнечном излучении. Фотовольтаические системы не имеют чёткой привязки к широте, так как помимо прямой солнечной радиации могут использовать рассеянную (Ожегова, 2014).

Для того, чтобы выявить географические различия между двумя основными технологиями производства солнечной энергии (фотовольтаика и гелиотермальная энергетика), следует представлять цепи создания добавленной стоимости обеих технологий.

Цепь в области концентрирующей солнечной энергетики включает 5 звеньев: материалы, компоненты, конечный продукт (разработка технологии и проектирование электростанции), сбыт, потребление. На первом этапе создаются материалы (синтетическое масло, кремнезём, пластик и др.). Второй этап – производство зеркал, парогенераторов и прочих компонентов. Третий этап – проектирование самой электростанции.

Цепь в области фотовольтаики включает те же 5 этапов, но принципиально другие технологии. Рассмотрим более подробно процесс производства продукта. Первый этап – производство поликремния, используемого в полупроводниках для превращения энергии света в электричество. Данное производство требует строительства крупных заводов стоимостью от 500 до 1 млрд \$ (Акимова, 2018). Второй этап – производство пластин. На третьем этапе изготавливают фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). Последний этап – производство солнечных модулей посредством соединения ФЭП. Модуль покрывается специальным стеклом для обеспечения защиты и эффективности преобразования

солнечного света. Транспортировка стекла – дорогой процесс, поэтому его производство обычно размещают рядом с производством солнечных модулей.

Факторы размещения солнечной энергетики можно подразделить на 4 группы: физико-географические, экономико-географические, экологические и институциональные. Последняя группа особенно значима, поскольку развитие ВИЭ и солнечной энергетики, в частности, во многом зависит от государственной политики.

Из физико-географических факторов главным является уровень солнечной радиации. Количество солнечной энергии, попадающей на поверхность Земли, зависит от времени года и времени суток. Максимальный поток солнечного излучения на экваторе составляет $1,2 \text{ Вт/м}^2$ ⁶. Но среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку в 3 раза меньше, поскольку влияет смена дня и ночи и изменение угла наклона поверхности по отношению к солнцу. Различия между количеством солнечной энергии и среднегодовым значением в зимнее и летнее время сглаживаются по мере приближения к экватору. Для оценки потенциала солнечной энергии учитывают следующие факторы: режим солнечного сияния (продолжительность и параметры временного распределения), количество солнечной радиации, поступающей на поверхность Земли за разные промежутки времени при различных условиях, альбедо подстилающей поверхности и режим его изменения во времени. К примеру, при высокой инсоляции системы концентрирующей солнечной энергии более эффективны, чем фотовольтаика. По этой причине данные системы эффективны в низких широтах, наблюдается чёткая привязка к районам с высоким уровнем солнечной обеспеченности.

Промышленное использование СЭС требует их подключения к энергосистеме. Здесь ключевой экономико-географический фактор – инфраструктура. Для некоторых электростанций требуются свои собственные ЛЭП из-за ограничения мощности существующих сетей.

Индивидуальные установки малой мощности могут быть размещены практически где угодно, но чаще на крышах домов. Не требуется подключение к единой энергосистеме. Для обеспечения электроэнергией в ночное время используются аккумуляторные батареи либо дизельные генераторы. Большое преимущество – надёжность и лёгкость в уходе, а также мобильность и простота обслуживания. Модули имеют сравнительно небольшой вес, что является плюсом при установке. Таким образом, транспортные и сервисные

⁶ Solar Gis // [Электронный ресурс]. URL: <https://solargis.com/> (дата обращения: 12.04.2020)

затраты сведены к минимуму. Можно сделать вывод о том, что главным экономико-географическим фактором для подобных установок становится потребитель с высоким уровнем доходов и экологически просвещенный.

Другой фактор, влияющий на размещение - наличие земли и стоимость её выкупа или аренды. Солнечные элементы устанавливаются на высоте от 1,8 до 2,5 метров, что позволяет использовать землю для сельскохозяйственных нужд. К примеру, часто такие земли используют для выпаса скота. Необходимо также наличие подъездных путей к солнечному парку. Для концентрированной солнечной энергетики важной является возможность доставки воды, используемой для охлаждения паровых турбин.

Самый важный фактор из экономико-географических – наличие спроса. Новые мощности СЭС вводятся там, где существует нехватка электроэнергии либо в связи с общественным мнением по поводу тех или иных традиционных источников, АЭС, в труднодоступных районах.

Наличие трудовых ресурсов и квалифицированных кадров, центры НИОКР – другой важный фактор, оказывающий влияние на размещение.

Основной экономический показатель солнечной энергетики – приведённая стоимость энергии (LCOE), которым обозначается стоимость 1 кВт*ч электроэнергии, которая рассчитывается отнесением суммы всех капитальных и эксплуатационных расходов в течение всего срока службы солнечной установки к общему количеству выработанной электроэнергии в кВт*ч.

$$LCOE = \frac{CAPEX + NPV \text{ of total } OPEX}{NPV \text{ of total } EP}, \text{ где}$$

CAPEX (Capital Expenditure) – капитальные расходы

OPEX (Operations and Maintenance costs) – расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание

EP (Electricity Production (in kWh)) – производство электроэнергии (в кВтч)

NPV (Net Present Value) – чистая приведённая стоимость

В капитальные расходы входят затраты на разработку солнечного поля, на компоненты системы (для фотовольтаики – модули и инвертор), установку, подключение к сети и финансирование расходов. В целом гелиотермальные системы более капиталоемкие в виду больших размеров, но само производство для них относительно простое (доступные и дешёвые материалы).

Оценка по показателю LCOE является весьма проблематичной и часто субъективной из-за сложности определения структуры затрат на различных этапах цепочки добавленной стоимости. Проблема состоит в различной организации производства, а также в постоянно меняющихся ценах на основные материалы. Технологии у компаний разные, и сравнение представляет собой значительную трудность. Для фотовольтаики самая существенная статья затрат – кремний, для гелиотермальной энергетики – создание солнечного поля. От 40% до 60% приходится на концентраторы (параболический или башенного типа, а также линзы Френеля), другая статья затрат – приёмник и хранение энергии.

Для конкурентоспособности отрасли необходимо достижение сетевого паритета. Сетевой паритет – это равенство (либо меньшее значение) приведённой стоимости производства электричества (LCOE) на основе альтернативных источников стоимости электроэнергии, получаемой с помощью традиционных. Сама концепция паритета подразумевает наличие сетей, с которыми можно рассматривать паритет (Бобыль, 2018).

Что касается экологических факторов, то считается, что солнечная энергетика – один из самых экологичных видов энергетики в целом. Действительно, солнечные установки не производят твёрдые отходы, не загрязняют воздух и воду. Однако специалисты отмечают, что СЭС способны изменять микроклимат. Занимая обширные площади, они вызывают затенение земель, что приводит к изменению растительности и почвы, также СЭС способны вызывать нагрев воздуха, что влияет на тепловой баланс. Таким образом, существует вероятность нарушения экосистем вблизи расположения солнечной электростанции (Пачурин, 2017). Кроме того, сложно оценить экологический ущерб от процесса производства компонентов солнечных систем.

Для развития одними из ключевых факторов становятся институциональные, т.е. связанными с управлением и регулированием сфер экономических и общественных отношений. Особенно сильно они влияют на инновационность, конкурентоспособность экономики, инвестиционную активность в регионе, способствуют повышению эффективности использования имеющихся ресурсов. Среди институциональных факторов, влияющих на развитие солнечной энергетики, необходимо отметить следующие: желание или нежелание властей способствовать развитию отрасли посредством прямых или косвенных механизмов финансирования, уровень экологической культуры населения. Основными инструментами государственной политики, применяемыми в мире, являются «зелёные» тарифы, «зелёные» сертификаты, прямые субсидии и налоговые послабления, система чистого измерения, соглашения по покупке электроэнергии.

ГЛАВА 2. РАЗВИТИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В США

2.1. Предпосылки для развития отрасли солнечной энергетики в США

Потребность в электрической энергии, самой универсальной из всех видов, в мире и в США, в частности, с каждым годом растёт. Страна имеет большой потенциал развития в области энергетики. Солнечная энергетика наиболее востребована в мире среди всех возобновляемых источников энергии и развивается наиболее активно. В связи с общим мировым трендом на экологизацию понятно желание реализовывать различные проекты у себя и всячески поддерживать развитие экологичной энергетики. Континентальная часть США располагается между 49-й и 24-й параллелью, что означает благоприятное положение относительно получения солнечной радиации. Наиболее «солнечные» штаты располагаются на юго-западе страны, так называемые горные и тихоокеанские штаты (часть Техаса, Колорадо, Юты, Невады, а также вся Калифорния, Аризона, Нью-Мексико). К данному перечню стоит добавить штат Гавайи, как место за пределами континентальной части США, подходящее для развития солнечной энергетики концентрирующего типа. Здесь прямая солнечная радиация достигает более $6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в среднем в год, что является необходимым условием для установки солнечных электростанций CSP. Остальная территория США меньше подходит для размещения гелиоцентрических СЭС с точки зрения их круглогодичной работы. Для фотовольтаических солнечных систем прямая солнечная радиация не является решающим фактором, поскольку они могут работать, получая радиацию рассеянную. Их география значительно шире и может включать всю территорию страны.

Расположение ресурсов не имеет резких контрастов с районами потребления электроэнергии. В данных районах располагаются крупные городские агломерации, действуют предприятия, нуждающиеся в большом количестве электроэнергии.

Что касается вопроса биоразнообразия, то приведённые ранее штаты – лидеры по площади пустынь. Здесь располагаются самые обширные и самые засушливые пустыни США: Сонора, Мохаве, Чиуауа. Распространено сельское хозяйство животноводческого направления, что может лучше сочетаться со строительством и эксплуатацией солнечных электростанций, нежели растениеводство, поскольку затенение от СЭС и изменение теплового баланса заметно влияют на продуктивность культур. Однако если идёт речь о солнечных электростанциях технологии PV в сельскохозяйственных районах, особенно растениеводческой направленности, то вопрос о землепользовании может встать остро.

Существуют предложения по размещению электростанций на уже использованных землях, например, занятыми под заброшенные шахты и свалки⁷.

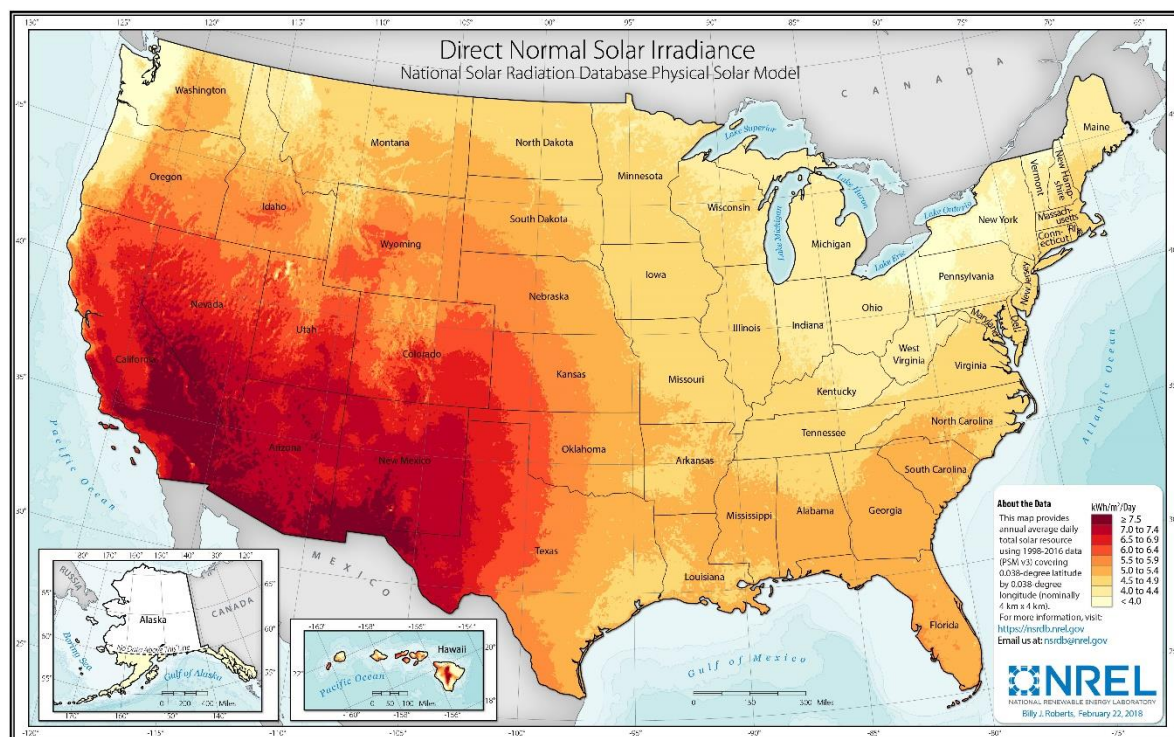


Рис. 1. Распределение прямого нормального излучения (DNI) в США. Источник – NREL, 2020⁸.

Препятствием для солнечной энергетики может послужить сложный рельеф местности с уклонами более 3 градусов, что наблюдается в горных штатах. Нехватка воды для систем охлаждения – другая сложность. Речная сеть запада страны менее густая, чем на востоке, самые крупные водные объекты – реки Колорадо, Рио-Гранде и Большое Солёное озеро. Использование технологий сухого охлаждения сильно удорожает производство электроэнергии, поэтому преимущество стоит отдавать размещению СЭС возле водоёмов и рек.

С 2009 по 2019 год США ввели суммарно 62298 МВт установленных мощностей. Пик по вводу пришёлся на 2016 год, когда было добавлено на 32% больше установленных

⁷ SEIA. Solar and Agricultural Land Use // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seia.org/sites/default/files/2019-11/Solar%20Ag%20Land%20Usage%20FactSheet%202019-PRINT.pdf> (дата обращения: 23.04.2020)

⁸ NREL. Direct Normal Irradiance // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nrel.gov/gis/solar.html> (дата обращения: 19.03.2020)

мощностей, чем за прошлый год (Рис.2).

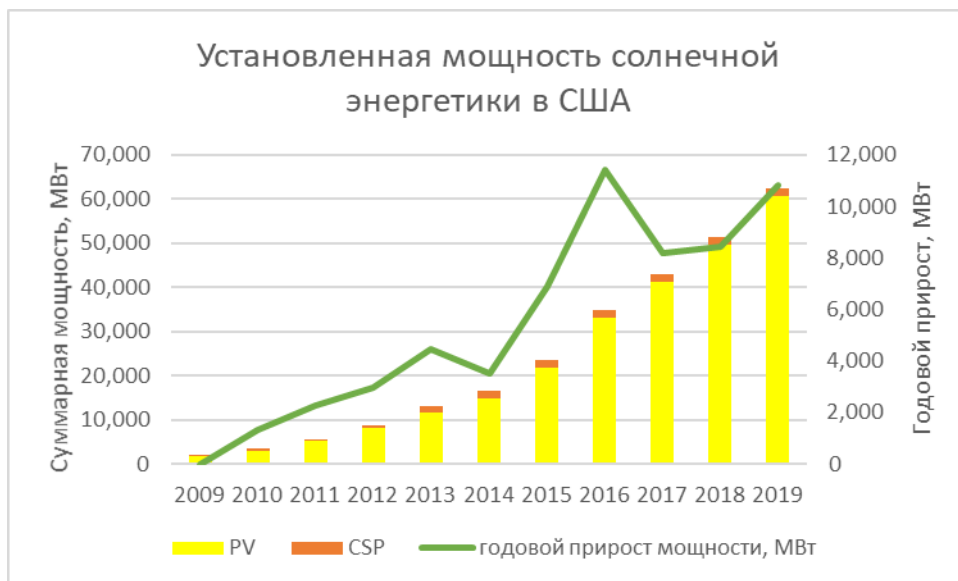


Рис 2. Установленная мощность солнечной энергетики в США (в т.ч. распределённая). Составлено автором по данным IRENA, 2020⁹.

Необходимо заметить, что введение большого количества дополнительных мощностей не всегда свидетельствует об их дальнейшем эффективном использовании. При установлении завышенных «зелёных» тарифов хозяйствующие субъекты могут вводить излишние мощности, получая при этом бюджетные средства и извлекая выгоду. Таким образом, необходимо рассмотреть эффективность использования установленных мощностей, т.е. определить отношение фактической энерговыработки установки за определённый период эксплуатации к теоретической энерговыработке при работе без остановок на номинальной мощности, т.е. коэффициент использования установленной мощности (КИУМ). Для США он составляет 20 – 24,5% в зависимости от типа электростанции. Примечательно, что с 2010 года коэффициент для фотовольтаики увеличивается, а для гелиоцентрической энергетики снижается (Табл. 2). Для сравнения, на 2019 год КИУМ ветроэнергетики составляет 34,8%, электростанций на природном газе – 67%, ядерной энергетики – 93,5%, гидроэнергетики – 39,1%, геотермальной – 74,4%.

⁹ International Renewable Energy Agency (IRENA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org> (дата обращения: 17.05.2020)

Табл 2. Коэффициенты использования установленной мощности в США.

Год	КИУМ для фотовольтаики	КИУМ для гелиоцентрической энергетики
2010	20,2%	24,5%
2011	19,0%	23,9%
2012	20,4%	23,6%
2013	24,5%	17,4%
2014	25,6%	18,3%
2015	25,5%	21,7%
2016	25,0%	22,1%
2017	25,6%	21,8%
2018	25,1%	23,6%
2019	24,5%	21,2%

Источник – IRENA, 2020¹⁰.

Цены на рынке солнечных панелей (технология PV) с каждым годом сильнее снижаются. По оценкам SEIA с 2010 года по 2019 год цены за ватт снизились на 75%, достигнув исторического минимума, и на 2019 год составляют 1,5\$/Ватт (Рис. 3). Уменьшение цены более чем в 3 раза способствовало повышению конкурентоспособности солнечных технологий по сравнению с традиционными источниками, что повлияло на ускоренный рост ввода новых мощностей. С 2013 года на солнечную энергетику в США приходится от 27% до 40% всего ввода новых генерирующих мощностей, т.е. почти треть. Для

¹⁰ International Renewable Energy Agency (IRENA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org> (дата обращения: 17.05.2020)

сравнения, в 2010 году на неё приходилось 4%.

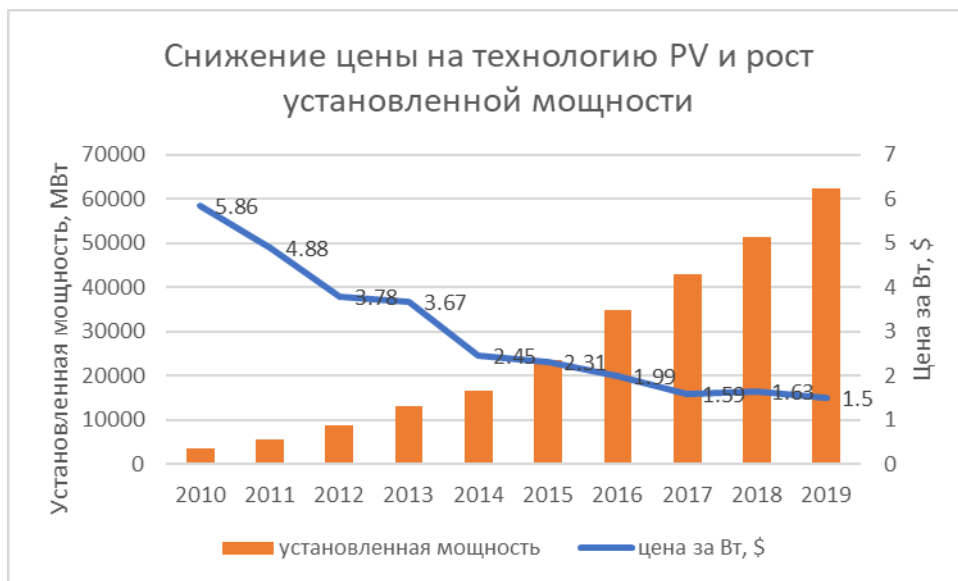


Рис 3. Снижение цен на солнечную энергию технологии фотовольтаики в США и рост установленной мощности. Составлено автором по данным SEIA, 2020 ¹¹.

С 2010 года выработка электроэнергии на СЭС централизованной системы выросла с 1817 тыс. МВт*ч до 72234 тыс. МВт*ч в 2019 году. Главный вклад вносит штат Калифорния, где производится почти 40% всей электроэнергии от солнца.

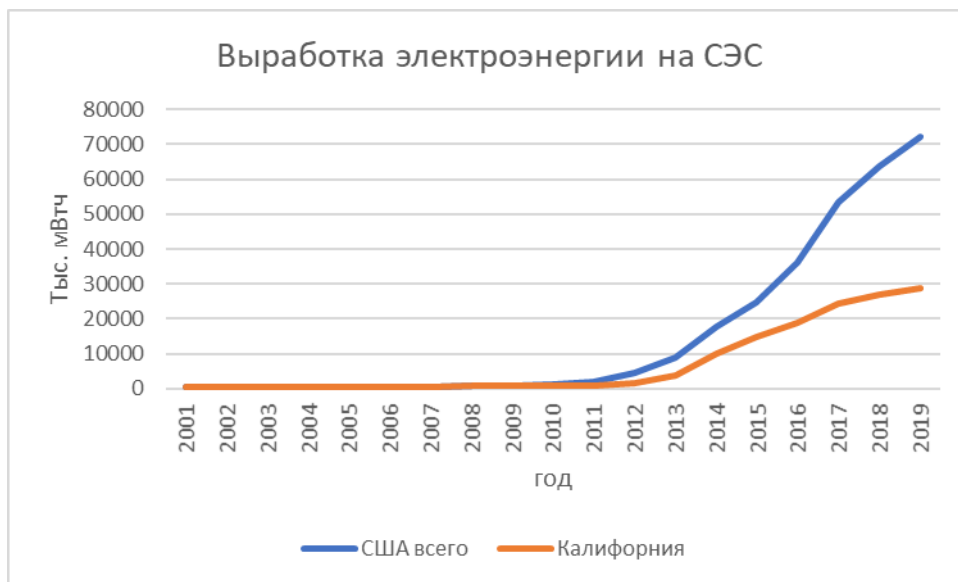


Рис 4. Выработка электроэнергии централизованной солнечной энергетики США технологиями PV и CSP. Составлено автором по данным SEIA, 2020 ¹¹.

¹¹ SEIA. Solar Industry Research Data // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seia.org/solar-industry-research-data> (дата обращения: 20.05.2020)

Солнечная энергетика на сегодня может конкурировать с традиционными источниками энергии. Для оценки используется приведённая стоимость электроэнергии, создаваемой с помощью различных технологий и типов сырья (LCOE). Стоит сказать, что приведённая стоимость ВИЭ зависит от многих факторов, таких как субсидии государства, цены на традиционные источники, доступность и стоимость капитала, срок службы солнечных панелей и износ. В США LCOE новых солнечных электростанций промышленного масштаба с каждым годом становится ниже, чем предельные издержки действующих объектов традиционной генерации. На 2018 год приведённая стоимость электроэнергии (без учёта субсидий) СЭС находится в интервале от 40 до 46 \$/МВт*ч (Рис. 5), причём для тонкоплёночных технологий показатель ниже и составляет 36 \$/МВт*ч. Это меньше, чем у новых объектов угольной генерации, где LCOE составляет от 60 до 143 \$/МВт*ч. Другой конкурент – парогазовые установки. Если цена на газ будет повышаться, прогнозируется постепенное вытеснение ПГУ солнечными и ветряными станциями. Показатель остальных традиционных источников выше, чем угля, и сейчас встаёт вопрос об экономическом смысле строительства новых электростанций данных технологий. Что касается других видов альтернативной энергетики, дешевле солнечной на 2018 год остаётся только ветровая, LCOE находится в интервале от 29 до 56 \$/МВт*ч. Для частной солнечной генерации LCOE остаётся высоким и составляет от 160 до 257 \$/МВт*ч (Lazard's levelized cost ..., 2018).

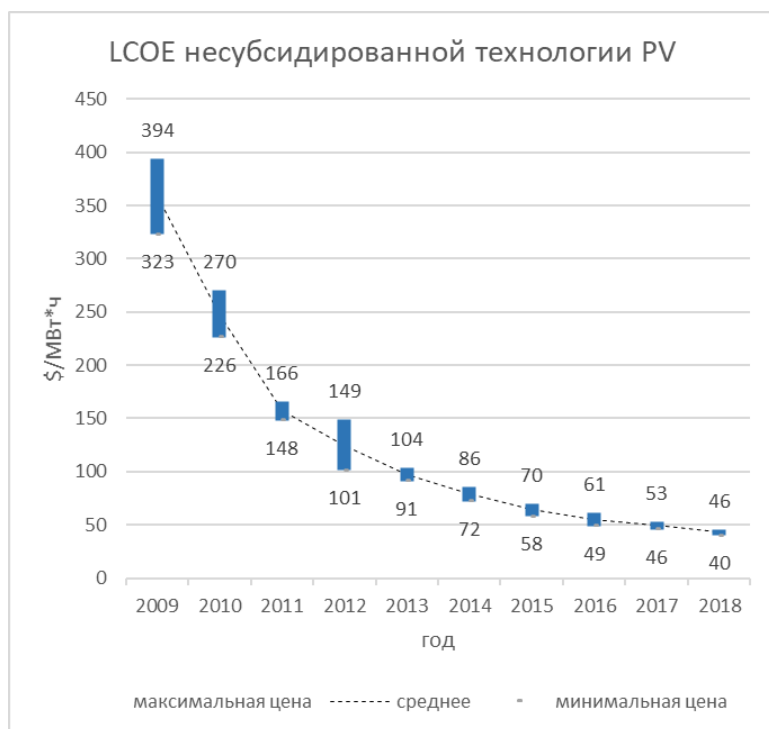


Рис. 5. LCOE несубсидированной технологии PV в США. Составлено автором по данным (Lazard's levelized cost ..., 2018).

Таким образом, явно виден тренд на снижение стоимости электроэнергии солнечных электростанций, повышение конкурентоспособности на энергетическом рынке. В ближайшем будущем можно ожидать дальнейшее активное развитие солнечно-энергетического комплекса США.

2.2. Крупнейшие компании и инвестиции в солнечную энергетику в США

США как инвестор вложили в развитие возобновляемых источников 356 млрд \$ за десятилетие¹². Крупнейшие солнечные компании США ежегодно занимают места в первой десятке по миру согласно рейтингам различных международных агентств. На конец 2019 года по установленной мощности в лидерах оказались американские компании SunPower и NextEra Energy. Суммарно данными компаниями установлено на 2019 год 17656 МВт мощности.

Табл. 3. Ведущие компании США в области солнечной энергетики в 2019 году.

Компания	Установленная мощность в 2019 г., ГВт	Количество СЭС
First Solar	5,174	73
NextEra Energy	3,408	58
AES Corporation	1,166	53
SunEdison	3,123	125
Cypress Creek Renewables	1,503	140
SunPower	1,145	40
Sempra Energy	1,090	11
8minutenergy Renewables	1,047	15

Составлено автором по IRENA, 2020¹³ и Wiki-Solar, 2020¹⁴

¹² International Renewable Energy Agency (IRENA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org> (дата обращения: 17.05.2020)

¹³ Wiki-Solar. The authority on utility-scale solar power // [Электронный ресурс]. URL: <https://wiki-solar.org/> (дата обращения: 18.05.2020)

¹⁴ RenewableEnergyWorld - publisher of renewable energy news and information on solar energy // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.renewableenergyworld.com> (дата обращения: 15.05.2020)

Компании специализируются на разных типах солнечных систем и предоставляют различный спектр услуг. First Solar – крупнейшая по капитализации, основное направление – производство солнечных модулей, дополнительные – обеспечение оборудованием для заводов по производству панелей, сервисное обслуживание. NextEra Energy, AES Corporation, Sempra Energy – крупнейшие генераторы возобновляемой энергии в США, основная деятельность которых – инвестирование в возобновляемые источники, создание необходимой инфраструктуры. SunEdison – компания, владеющая всей цепочкой создания добавленной стоимости солнечных панелей, начиная от производства поликремния и заканчивая строительством и эксплуатацией систем. Cypress Creek Renewables разрабатывает, строит и эксплуатирует солнечные электростанции. SunPower наряду с First Solar – крупный инвестор, компания, занимающаяся производством оборудования для изготовления компонентов солнечных модулей, также осуществляет переработку отслужившего оборудования. 8minutenergy Renewables не является широкой известной за пределами США, однако в своей стране это один из лидеров по разработке солнечных электростанций и накопителей энергии. Таким образом, в США представлены компании с полной цепочкой производства и установки модулей, ведущие деятельность по созданию инфраструктуры, обслуживанию электростанций и утилизации отслужившего срок оборудования.

Электростанции выступают в качестве создателя рабочих мест. Для наиболее крупных проектов CSP (мощностью более 50 МВт) требуется от 600 до 1700 человек на этапе строительства и от 30 до 90 для эксплуатации. Несомненно, необходима высокая квалификация кадров. Самые большие электростанции SCP по мощностям и числу занятых представлены в Таблице 1 в приложениях. Стоит отметить, что из числа компаний, представленных в таблице, в разработчиках фигурирует только NextEra Energy. Помимо неё присутствует множество более мелких игроков, что свидетельствует о том, что рынок не монополизирован.



Рис. 6. Корпоративная установка солнечных мощностей ведущими не энергетическими компаниями США. Источник – SEIA, 2020 ¹⁵.

Отличительная особенность США – поддержка солнечных технологий не энергетическими компаниями, активно внедряющими данные технологии в свою инфраструктуру. Они все чаще обращаются к солнечной энергии как к экономически эффективному способу обеспечения своей деятельности. По мере расширения возможностей использования солнечной энергии для предприятий США растет число компаний, и на 2019 год среди них присутствуют не только лидеры технических отраслей и ритейла, но и не крупные компании с меньшей капитализацией. Данный факт свидетельствует о росте рынка и увеличении доступности «зелёных» технологий для потребителей. В 2019 году Apple внедрил 393,3 МВт мощности на своих объектах, Amazon – 329,8 МВт, Target – 242,4 МВт, что сравнимо по объёму с несколькими крупными СЭС концентрирующей технологии. Более 100 МВт установили компании Walmart, Google и Switch (Рис. 6). Корпоративное использование солнечной энергии выросло с 2014 года более чем в 2 раза. Факторами роста послужили падение цен и более гибкие варианты финансирования и закупок. Штатами-лидерами по корпоративным установкам являются Калифорния (2928,4 МВт), Нью-Джерси (995,4 МВт), Нью-Йорк

¹⁵ SEIA. Solar Means Business // [Электронный ресурс]. URL: <https://solarmeansbusiness.com/> (дата обращения: 20.05.2020)

(619,6 МВт), Массачусетс (583,9 МВт), Северная Каролина (356 мВт), т.е. в основном атлантические, где получила развитие распределённая генерация ¹⁶.

2.3. Научно-исследовательские разработки в области солнечной энергетики в США

На 2019 год абсолютными лидерами по инвестициям в области исследований и разработок являются американские компании SunPower и First Solar. SunPower производит одни из самых высокоэффективных модулей в мире линейки X-серии с эффективностью 24,1%. First Solar – крупнейший инвестор в НИОКР, единственная компания из 10 ведущих, которая владеет тонкоплёночной технологией. Стоит отметить отсутствие корреляции между размером инвестиций в НИОКР и лидерством в сфере продаж. На данный момент по продажам лидируют китайские компании, поскольку их панели дешевле в производстве.

Начиная с 2018 года в солнечной энергетике проводятся эксперименты по созданию высокоэффективных элементов на основе перовскита (титаната кальция), соединённого с кремнием. Перовскиты могут стать новым поколением материалов для солнечных элементов¹⁷. Основное преимущество – небольшие затраты материала по сравнению с кремниевыми фотоэлементами, что благоприятствует выходу на мировой рынок. КПД перовскитных элементов достигает 27%, что на 7-10% выше, чем в обычных кремниевых технологиях. Солнечные элементы нового образца были изготовлены в Калифорнии в 2020 году, однако ещё не вышли на рынок. Основная сложность - высокие расходы на строительство новых фабрик. Эксперты предлагают использовать для продвижения нишевые рынки, где потребитель готов платить больше в виду особых свойств панелей (большая производительность, гибкость, определённая форма, прозрачное покрытие). Таким образом удастся избежать высоких первоначальных затрат. Одним из стартапов, планирующих довести перовскитные фотоэлементы до серийного производства, является компания Swift Solar, базирующаяся в Силиконовой долине.

Технология, позволяющая солнечным панелям вырабатывать электроэнергию ночью, впервые появилась в Калифорнии. Согласно исследованиям учёных, можно достичь ¼ от

¹⁶ SEIA. Solar Means Business // [Электронный ресурс]. URL: <https://solarmeansbusiness.com/> (дата обращения: 21.05.2020)

¹⁷ Национальный исследовательский институт «Высшая школа экономики» // [Электронный ресурс]. URL: <https://energy.hse.ru/Wiie> (дата обращения: 02.05.2020)

уровня выработки электроэнергии днём с помощью терморadiaционных ячеек. Такая ячейка генерирует энергию, излучая тепло в окружающую среду (инфракрасное излучение). Материалы различны, но принцип действия тот же. Поскольку новый тип солнечных элементов потенциально может работать круглосуточно, это возможность сбалансировать энергосистему в течение цикла день-ночь¹⁷.

Важный показатель, отражающий ситуацию в области исследований, это число патентных заявок. Следует понимать, что патенты - это долгосрочная инвестиция. Можно коммерциализировать изобретение в течение 10 лет после подачи заявки. Таким образом, изобретения, запатентованные в 2000-х годах, получают воплощение в коммерческих товарах сегодня. По заявкам, поданным по процедуре РСТ (Patent Cooperation Treaty) с 2010 по 2019 год, США в области солнечной энергетики находятся на втором месте после Японии. Доля патентов на солнечную энергетику в категории «Возобновляемая энергетика» составляет 62%¹⁸.

¹⁸ Всемирная организация интеллектуальной собственности. Журнал ВОИС. Патентование в области возобновляемой энергетики: последние тенденции // [Электронный ресурс]. URL: https://www.wipo.int/wipo_magazine/ru/2020/01/article_0008.html (дата обращения: 10.05.2020)

ГЛАВА 3. РАЗВИТИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КИТАЕ

3.1. Предпосылки для развития отрасли солнечной энергетики в Китае

Китайская Народная Республика – страна с большим потенциалом в области солнечных технологий. Она располагается между 53 и 18 градусами северной широты и получает достаточное количество солнечной энергии как для гелиотермальных, так и для фотовольтаических солнечных электростанций. Солнечная энергия в Китае географически распределена неравномерно. Тибет является наиболее богатым регионом по поступающей энергии солнца, также среди лидеров – северный и северо-западный районы. Расположение ресурсов не совпадает с главными внутренними рынками потребления энергии, которые расположены на востоке. С точки зрения производства энергии наиболее перспективны пустынные области, что связано не только с большим количеством получаемой энергии солнца, но и с гораздо меньшим биоразнообразием местности, где установка СЭС будет более удобна и менее затратна.

По оценкам экспертов, критический минимум показателя солнечной радиации необходимой для солнечных установок концентрированной энергетики составляет 6 КВт*ч/м² в год. Для засушливых и высоко поднятых областей Тибетского нагорья показатель достигает 9 КВт/м² в год, для Синьцзян-Уйгурского АР показатель равен 7,5-8,5 КВт*ч/м² год, аналогично для Внутренней Монголии, провинции Цинхай (Рис. 7). В восточных и центральных районах значения менее 2 КВт*ч/м² в год. Для фотовольтаики высокая инсоляция не столь важна, поэтому установки данного типа можно размещать в Китае практически повсеместно.

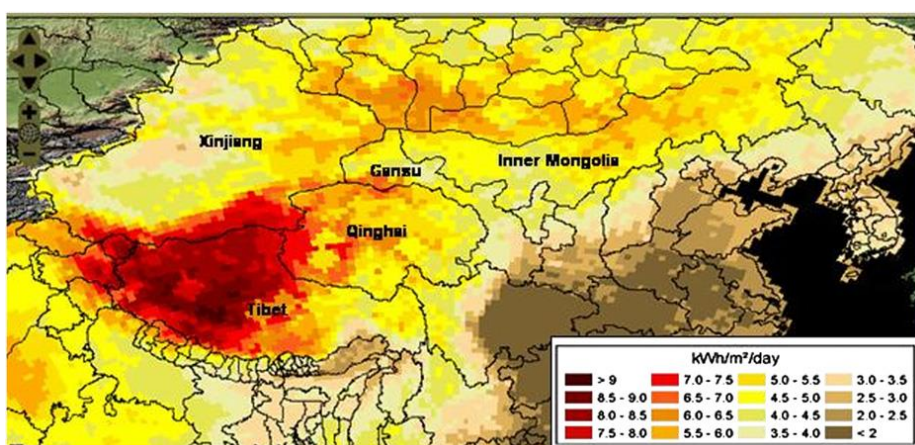


Рис 7. Распределение прямого нормального излучения (DNI) в Китае. *Источник – (Chung-Ling, John, 2011).*

Как говорилось выше, земля для строительства СЭС должна иметь низкую ценность для сельскохозяйственного использования или для проживания, низкий потенциал биологической продуктивности. Другими словами, наиболее подходящие потенциальные площадки для строительства СЭС – пустыни. Около 27% территории Китая (2,63 млн км²) – пустынные области, которые охватывают северные части Центрального Китая, часть Северо-Восточного Китая, большую часть Северо-Западного Китая. Только Тибет, Цинхай и Внутренняя Монголия дают 987900 км² пустыни. Однако не все пустынные земли подходят ввиду сложности рельефа. Необходимо, чтобы уклон поверхности не превышал 3 градуса. По этой причине Тибет не подходит для размещения концентрирующих СЭС. Кроме того, данный регион сейсмически опасен. Немаловажный аспект для данных систем – наличие воды, необходимое для охлаждения. В среднем требуется до 3,5 м³ воды/КВт*ч. Таким образом, во многом эффективность концентрирующих систем зависит от наличия и стоимости такого ресурса, как вода. Существует вариант сухого охлаждения, который удорожает обслуживание СЭС в 3 раза, что приводит к увеличению стоимости электроэнергии. Таким образом, наилучший вариант – наличие рядом с СЭС доступного и недорогого источника воды.

По данным АЕСЕА законодательно в Китае были определены зоны с приоритетом развития солнечной энергетики (Рис. 8). Согласно плану, страна разделена на территории с целевыми регионами для развёртывания солнечно-энергетической системы.



Рис. 8. Зоны для развития солнечной энергетики в Китае. *Источник – АЕСЕА, 2020* ¹⁹

¹⁹ Asia Europe Clean Energy (Solar) Advisory (AECEA) // [Электронный ресурс]. URL: www.aecea.com (дата обращения: 15.04.2020)

Регионы, обозначенные оранжевым на Рис.8, должны стать лидерами по производству энергии от солнца. К ним относятся провинции Гуандун, Чжэцзян, Аньхой, Цзянсу, Шаньдун, Хэбэй и Шэнси. Четыре региона должны самостоятельно производить энергию, а также передавать в другие регионы и потреблять – провинции Цинхай, Внутренняя Монголия, Шаньси, Нинся-Хуэйский АР. Синьцзян-Уйгурский АР и провинция Ганьсу будут передавать и потреблять энергию от солнца.

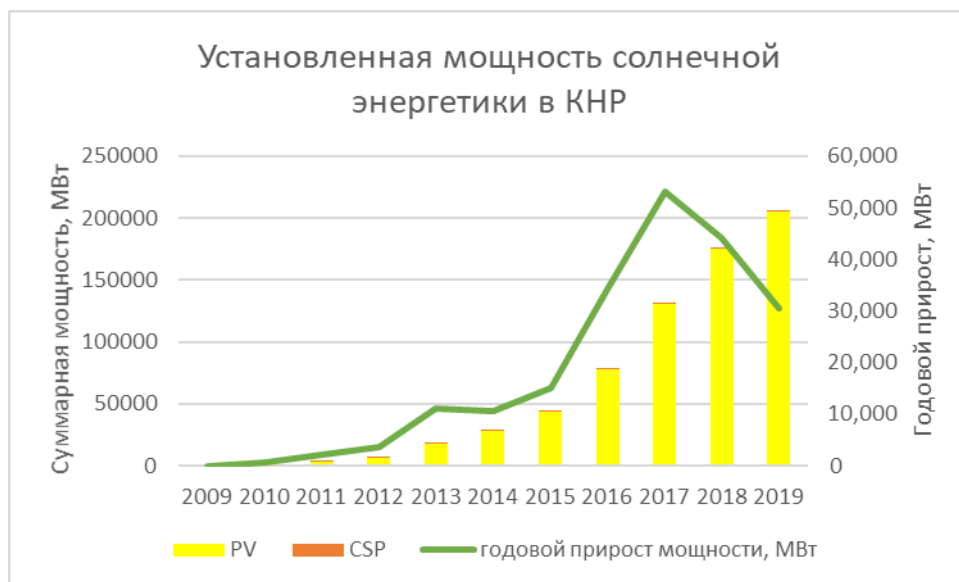


Рис 9. Установленная мощность солнечной энергетики в КНР (в т.ч. распределённая). Составлено автором по IEA, 2020²⁰.

В 2012 году Китай занимал 3 место в мире по установленным мощностям. После 2012 года начался «солнечный бум», и каждый год мощности наращивались. Вскоре Китай стал лидером в мире, опередив Германию, которая занимала первые места до этого. План 13-й пятилетки оказался перевыполнен, было установлено в 2 раза больше мощностей, чем предполагалось. До 2015 года прирост не превышал 16000 МВт, однако следующие 4 года были отмечены резким приростом мощностей в 34250, 53014, 44216 и 30461 МВт соответственно (Рис. 9). Рекордным для КНР стал 2017 год. КНР удерживает лидерство по вводу новых мощностей фотогальваники и в 2019 году, однако темпы ввода с 2018 года сократились, причиной чему послужило приостановление выдачи квот на строительство промышленных СЭС государственными органами Китая в мае 2018 года. Однако в 2019 году доля КНР в новых мощностях по-прежнему велика и составляет 25%.

²⁰ International Energy Agency (IEA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 16.05.2020)

Эффективность использования солнечной энергетики в Китае небольшая. Согласно Бюро статистики Китая в 2018 году коэффициент использования установленных мощностей составлял 14,7%, тогда как в США он достигает 24,5% ²¹. Таким образом, используется менее 1/6 от общего количества. Это означает недоиспользование и низкую эффективность. Среди причин - отсутствие надёжных линий электропередач, большие расстояния передачи электроэнергии, плохой выбор площадки для размещения, что вместе даёт неправильную географию отрасли, плохая технология и быстрая деградация оборудования на станциях. Китай пытается решить проблему больших расстояний путём внедрения инноваций в области ЛЭП постоянного тока большой ёмкости.

Что касается генерации электроэнергии от солнца, Китай в 2019 году выработал 223800 ГВт*ч, что составляет 3% от общей выработки на всех электростанциях страны. С 2018 года выработка на СЭС увеличилась на 26,5% ²². Примечательно, что выработка за счёт ТЭС на угле постепенно снижается, что свидетельствует о курсе Китая на повышение доли экологически чистой энергии. Однако по сей день доля угольной генерации остаётся высокой, уголь даёт 68,9% всей производимой электроэнергии. По данным IRENA наиболее быстро с 2010 года роста генерация за счёт фотовольтаики, в то время как производство электричества от концентрирующей технологии практически не увеличилось, несмотря на высокий потенциал.

²¹ National Bureau of Statistics of China // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stats.gov.cn/english/> (дата обращения: 15.04.2020)

²² China Electricity Council (CEC) // [Электронный ресурс]. URL: <http://english.cec.org.cn/No.110.1941.htm> (дата обращения: 15.04.2020)



Рис 10. Генерация электричества в КНР. Составлено автором по данным IRENA, 2020²³.

В случае Китая, если рассматривать приведённую стоимость электроэнергии, на 2019 год она оценивается минимально в 38 \$/МВт*ч. Основной конкурент на рынке – угольная генерация, поскольку LCOE от угольных электростанций ниже и составляет в среднем 35 \$/МВт*ч. Показатели различаются незначительно, при дальнейшем удешевлении электроэнергии от солнца возможна конкуренция в межтопливной энергетике Китая. Парогазовые установки, составляющие конкуренцию солнечной энергетике в США, менее конкурентоспособны в Китае в виду необходимости закупки газа. Существенным конкурентным преимуществом китайской фотовольтаики являются дешёвые системы хранения энергии (115 \$/МВт*ч)²⁴. Это зависит главным образом от близости разработчиков к цепочке поставок оборудования и широкого использования дешёвой химии в составе систем. По прогнозам BNEF к 2030 году в связи с развитием электромобильного транспорта стоимость аккумуляторных батарей снизится на 66%²⁶, что означает существенное удешевление систем хранения энергии для энергетического сектора.

²³ International Renewable Energy Agency (IRENA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org> (дата обращения: 14.05.2020)

²⁴ BNEF. Scale-up of Solar and Wind Puts Existing Coal, Gas at Risk // [Электронный ресурс]. URL: <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/> (дата обращения: 15.05.2020)

3.2. Крупнейшие компании и инвестиции в солнечную энергетику в Китае

Китай является лидером среди инвесторов в производство ВИЭ, за последнее десятилетие он вложил в «зелёные технологии» 758 млрд \$ ²⁵. Крупные финансовые вливания, наряду с созданной нормативно-правовой базой положительно влияют на состояние отрасли и обеспечивают перспективу роста. Китайские компании лидируют в мире по производству и по продажам солнечных панелей. Крупнейшими компаниями по продажам на мировой рынок являются JinkoSolar, JA Solar и Trina Solar, в год поставляющие до 14 ГВт солнечных мощностей (Табл. 4).

Табл 4. Крупнейшие китайские компании-поставщики солнечных модулей в 2019 г.

Компания	Продажи в 2018 г., ГВт	Продажи в 2019 г., ГВт	Штаб-квартира (город, провинция)
JinkoSolar	11,4	14,2	Шанхай
JA Solar	8,8	10,3	Пекин
Trina Solar	8,1	9,7	Чанчжоу, Цзянсу
Longi Solar	7,2	9,0	Сиань, Шэньси
Risen Energy	4,8	7,0	Нинбо, Чжэцзян
GCLSystem Int. Tech.	4,1	4,8	Сучжоу, Цзянсу
Shunfeng Phot.Int.Lim.	3,3	4,0	Чанчжоу, Цзянсу
Suntech Power	н/д	н/д	Уси, Цзянсу
Talesun Energy	н/д	н/д	Сучжоу, Цзянсу

Составлено автором по ReEn, 2020 ²⁶ и GlobalData, 2020²⁷.

Вместе с Canadian Solar 9 китайских компаний в 2019 году продали 80 ГВт, что составляет 65,4% мирового рынка. В лидерах на китайском рынке также находятся State Power Investment Corporation, Shunfeng, China Three Gorges New Energy, Hareon Solar и China

²⁵ China Electricity Council (CEC) // [Электронный ресурс]. URL: <http://english.cec.org.cn/No.110.1941.htm> (дата обращения: 15.04.2020)

²⁶ RenEn. Инновации и передовые технологии в энергетике // [Электронный ресурс]. URL: <https://renen.ru> (дата обращения: 20.05.2020)

²⁷ GlobalData - data analytics and consulting company // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globaldata.com/chinas-jinkosolar-preserves-its-leading-global-solar-pv-module-shipment-rank-in-2019/> (дата обращения: 12.05.2020)

Singyes, занимающиеся производством кремния, панелей, установкой, логистикой и обслуживанием, т.е. включающие весь спектр необходимых процедур для успешного функционирования СЭС и встраивания их в общую энергосистему. Центры большинства компаний и крупные заводы по производству компонентов находятся в провинции Цзянсу, одном из трёх лидеров по установленным мощностям распределённой и централизованной энергетики.

Компании существенно влияют на занятость населения путём создания рабочих мест. Особенно стоит отметить крупные проекты, заметно повышающие занятость. В основном это гелиоцентрические солнечные электростанции (Табл.2, прил.) или реже фотогальванические, где требуется от 40 человек для обслуживания электростанций и несколько сотен работников на этапе строительства.

3.3. Научно-исследовательские разработки в области солнечной энергетики в Китае

Фотоэлектрический сектор Китая на 2019 год далёк от глобального инновационного лидерства, что связано с относительно низким уровнем участия корпораций в исследованиях. На данный момент лидерство в отрасли принадлежит кремниевым технологиям первого поколения (моно- и поликристаллические элементы), массово используемым для солнечных панелей китайскими производителями, и в краткосрочной перспективе Китай будет доминировать на рынке. Китайские компании инвестируют небольшую часть своих доходов в разработки (в среднем 1,86% от продаж), в то время как американские First Solar и Sun Power инвестируют 5,1% и 6% соответственно²⁸. Однако, несмотря на относительно низкие затраты на НИОКР, Китай лидирует по продажам солнечноэнергетических мощностей.

²⁸ PV Tech // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pv-tech.org> (дата обращения: 18.05.2020)

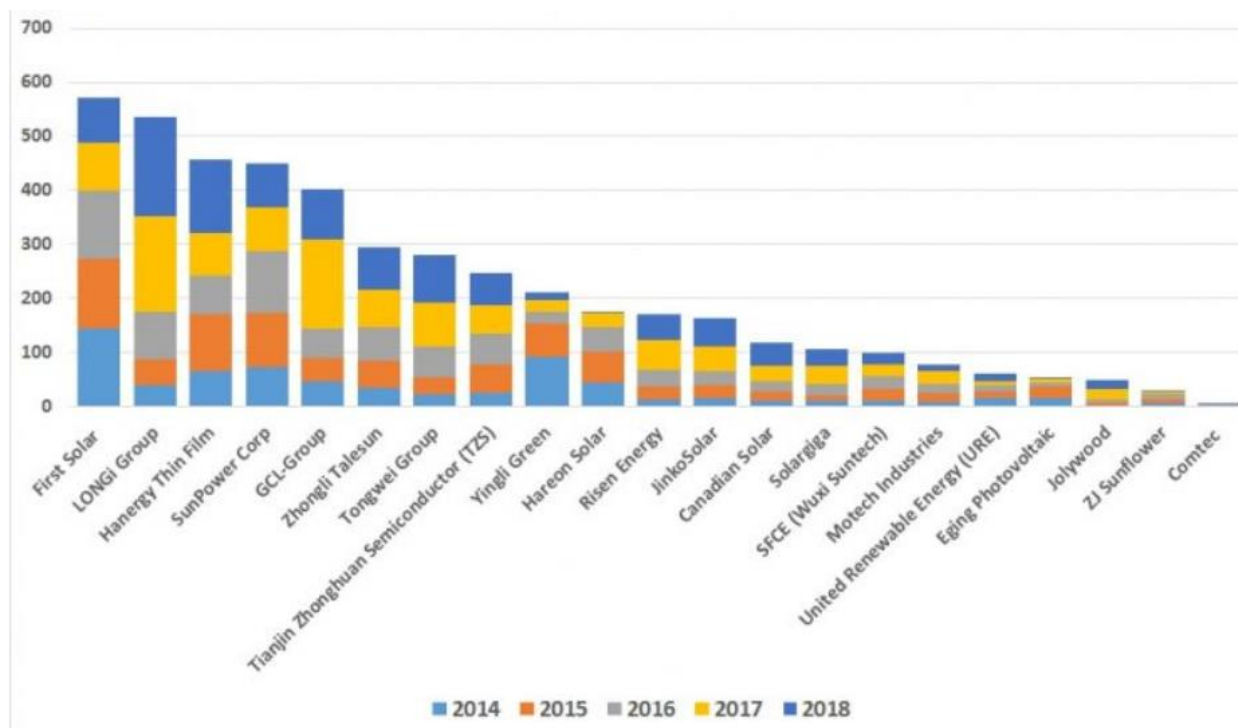


Рис. 11. Расходы на НИОКР крупнейших мировых производителей солнечных панелей с 2014 по 2018 г. *Источник - PV Tech. R&D spending..., 2018*²⁹

Если рассматривать расходы на НИОКР крупнейших мировых производителей солнечных панелей (Рис. 11), можно определить 5 лидеров, среди которых выделяются 3 китайских компании. Совокупно наибольшие расходы на НИОКР за 5 лет понесли Longi Group, Hanergy Thin Film и GCL-Group. Примечательно, что ни одна из данных компаний не входит в топ-пять ведущих мировых поставщиков, т.е. не наблюдается корреляции между затратами на разработки и продажами. Ведущие производители фотоэлементов и модулей неохотно занимают лидирующие позиции в исследованиях и разработках.

В планах правительства фигурирует развитие технологии на базе кристаллического кремния, тонких плёнок с эффективностью выше 25%, высокоэффективных аккумуляторных батарей, создание интеллектуальных фотоэлектрических станций, гибридных электростанций с использованием ветроэнергетических установок, CSP, подключение к сети постоянного тока распределенных фотоэлектрических микросетей.

²⁹ PV Tech. R&D spending analyses of 21 PV manufacturers // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pv-tech.org/editors-blog/rd-spending-analysis-of-21-pv-manufacturers> (дата обращения: 15.04.2020)

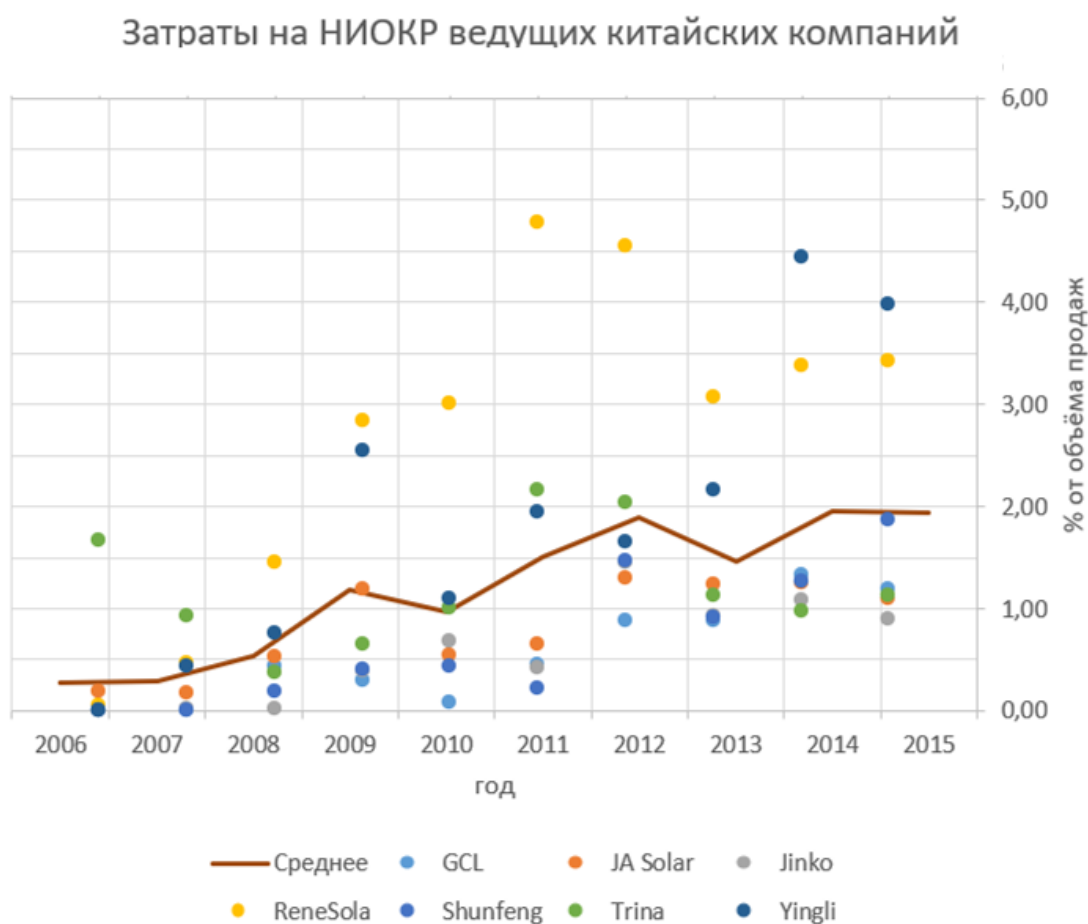


Рис. 12. Затраты на НИОКР ведущих китайских компаний, в % от чистого объема продаж. Составлено автором по (Gandenberger, 2018).

Рассматривая патентные заявки Китая в области ВИЭ, стоит отметить, что он находится в лидерах, замыкая первую пятёрку стран. На солнечную энергетику приходится 71% всех патентных заявок по процедуре PCT, поданных в категории «Возобновляемая энергетика»

³⁰. Китайская академия наук (CAS) играет важную роль в создании новых знаний. 3 института CAS (Институт нанотехнологий и нанобионики Сучжоу, Институт полупроводников Китайской Академии Наук, Шанхайский технический университет) были наиболее активными в части подачи заявок на национальном уровне.

³⁰ Всемирная организация интеллектуальной собственности. Журнал ВОИС. Патентование в области возобновляемой энергетики: последние тенденции // [Электронный ресурс]. URL: https://www.wipo.int/wipo_magazine/ru/2020/01/article_0008.html (дата обращения: 10.05.2020)

ГЛАВА 4. ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В США И КИТАЕ

4.1. Региональные особенности размещения солнечных электростанций в США и Китае

В Китае существуют достаточно большие различия между централизованной и распределённой солнечной генерацией. Среди лидеров установленной мощности по централизованной генерации выделяются провинции Цинхай, Синьцзян-Уйгурский АР, Внутренняя Монголия и Хэбэй. Высока централизованная установленная мощность также в Шаньси, Нинся-Хуэйском АР, Ганьсу и Цзянсу. Среди распределённой солнечной энергетики выделяются Шаньдун, Чжэцзян, Цзянсу и Хэбэй. Таким образом, государство стремится вводить большие мощности во внутренних и северных районах, наиболее подходящих по физико-географическим условиям, в то время как солнечные установки малой генерации для личного пользования устанавливаются преимущественно на востоке, где солнечный ресурс меньше. Таким образом, локализация у распределённой и централизованной солнечной энергетики разная.

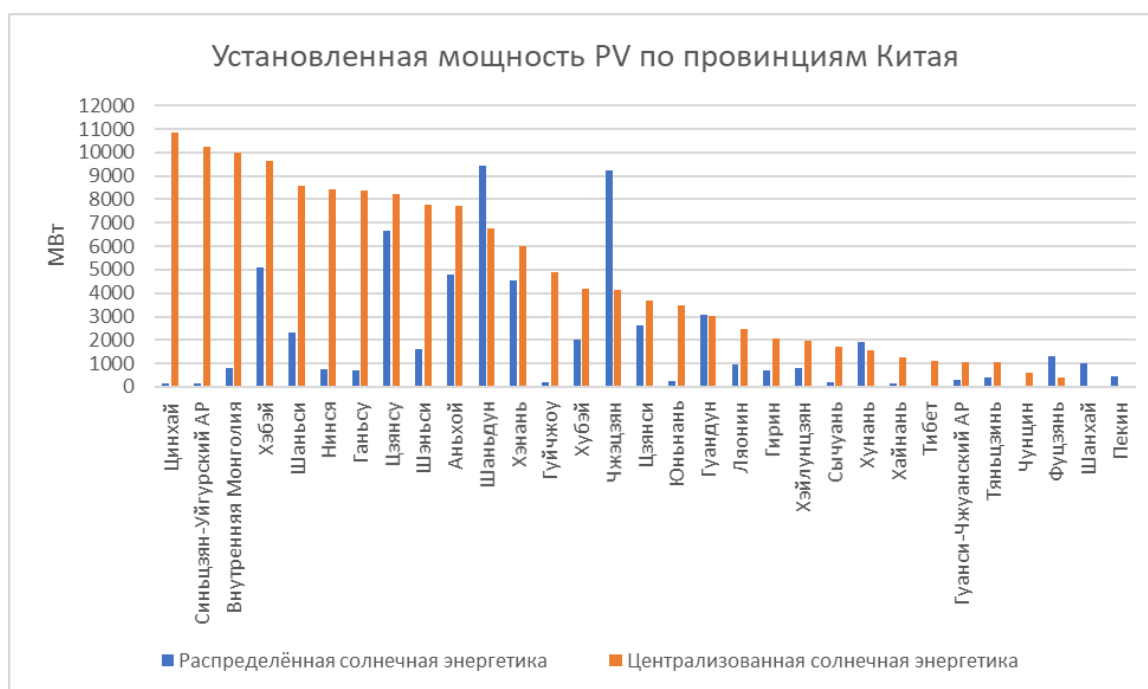


Рис 13. Установленная мощность солнечной энергетики по провинциям Китая. Составлено автором по China Energy Portal ³¹.

³¹ China Energy Portal // [Электронный ресурс]. URL: <https://chinaenergyportal.org/en/2019-pv-installations-utility-and-distributed-by-province/> (дата обращения: 15.04.2020)

Наибольшая суммарная установленная мощность приходится на восточные регионы, а также северные и северо-западные. Если сравнить с картой приоритетных регионов, обозначенных как ключевые центры развития отрасли китайскими властями в документах планирования (Рис. 8), следует отметить, что в целом солнечная энергетика развивается согласно намеченным целям. Территориальную структуру отрасли в Китае можно назвать моноцентричной с центром на востоке, где установлено больше всего мощностей. Лидеры по мощностям – провинции Хэбэй, Шаньдун и Цзянсу. Также характерно деление на север и юг.

Картосхема 1. Суммарная установленная мощность солнечной энергетики Китая по провинциям. Составлено автором по данным China Energy Portal³².



Рис. 14. Рабочие места в солнечной энергетике Китая с 2013 по 2019 год. *Составлено автором по (Renewable Energy and Jobs..., 2019).*

Если рассматривать географию технологий солнечной энергетики в США, можно проследить ряд закономерностей. Штатами с наибольшими солнечными мощностями являются Калифорния (27405 МВт), Северная Каролина (6152 МВт), Аризона (4645 МВт), Техас (4324 МВт), Невада (3556 МВт), Флорида (3690 МВт) (Картосхема 3). Ввод мощностей промышленного значения гораздо выше в западной географической области во главе с Калифорнией, Невадой и Аризоной. Как уже говорилось в Главе 2, здесь достаточно земель для размещения СЭС без вреда для сельского хозяйства. Исключение составляет Калифорния, где развивается рынок индивидуальных установок благодаря политике штата и преобладанию инновационных компаний, инвестирующих в отрасль. Что касается солнечных установок для частного пользования, они размещены преимущественно на востоке, где штатами-лидерами являются Северная Каролина, Массачусетс, Нью-Йорк и Нью-Джерси. Солнечный и земельный ресурс там меньше, чем в западных штатах.



Картосхема 3. Суммарная установленная мощность в США по штатам. Составлено автором по данным SEIA, 2020³².

Наибольшая суммарная установленная мощность солнечных электростанций приходится на Калифорнию (27405 мВт), который оправдывает своё название самого солнечного штата. Для сравнения, штат Северная Каролина, занимающий второе место по данному показателю, имеет установленную мощность в 4,5 раза меньше. Калифорния также является лидером по приросту установленных мощностей. Начиная с 2018 в данном штате проводится государственная политика по поддержке энергоэффективности зданий в области солнечной энергетики путём обязательного включения солнечных панелей во всех новых домах, которые будут построены, начиная с 2020 года.

По выработке электроэнергии выделяются Калифорния, которая даёт 40%, Невада, Аризона, Техас, Северная Каролина и Флорида. Суммарно на них приходится (исключая Калифорнию) 35% электроэнергии. Таким образом, 6 штатов дают 75% выработки всей электроэнергии на базе солнечной энергетики США. В процентном соотношении от общей выработки электроэнергии в штате выделяется на общем фоне Калифорния, которая является единственным субъектом, где от солнца получают 1/5 всей электроэнергии. От 7% до 14% получают в штатах Вермонт, Массачусетс, Невада и Гавайи, от 5% до 7% - в штатах Юта, Аризона, Северная Каролина и Нью Джерси. В

³² SEIA. Solar Industry Research Data // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seia.org/solar-industry-research-data> (дата обращения: 20.05.2020)

других штатах, несмотря на большую установленную мощность, выработка низкая по причинам меньшей эффективности и конкуренции со стороны других источников. Всего более 5 ТВт*ч в год вырабатывают 3 штата. В США есть класс так называемых «умных городов» (smart cities), отличительной чертой которых в числе прочих обозначается рациональное использование энергии. «Умный» город можно определить как город, располагающий солнечными и/или ветровыми мощностями, а также планом развития, который включает в себя ВИЭ-компонент (Международные тенденции в области..., 2018). Мировой лидер – Сан-Диего, где на долю солнечно-ветровой энергии приходится более 1/3 энергобаланса города. План развития предполагает к 2035 году переход на 100% генерацию от ВИЭ. Лос-Анджелес, также располагающийся в штате Калифорния, имеет показатель в 20%.



Картограмма 4. Чистая выработка электроэнергии централизованной солнечной энергетики по штатам США в 2019 г. Составлено автором по данным IRENA, 2020³³.

В части занятости населения прослеживается тенденция увеличения количества рабочих мест с 2010 года, за исключением 2016 и 2017 годов, когда наблюдалось небольшое снижение. В целом занятость выросла на 2,6 раз с 93000 до 250000 рабочих мест во всех 50 штатах. Значительный прирост в последний год был стимулирован ожиданием прекращением с 2020 года предоставления полной налоговой скидки в 30%. По оценкам

³³ International Renewable Energy Agency (IRENA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org> (дата обращения: 17.05.2020)

The Solar Foundation в солнечной энергетике занято вдвое больше людей, чем в угольной. На сектор разработки проектов, установки, торговли и распределения в США приходится 77% общей занятости в отрасли, на инженерное, финансовое и юридическое обслуживание в общей сложности – 9%, в то время как производство составляет 14% от общего числа, что говорит о преимущественной занятости в третичном секторе экономики. Непроизводственный сектор ответственен за большую часть прироста рабочих мест между 2018 и 2019 годом, производственный сектор растёт низкими темпами (10th Annual National..., 2019).

Если рассматривать занятость в солнечной энергетике по штатам, то наибольшее количество работников данной сферы наблюдается в Калифорнии. В 2019 году количество рабочих мест выросло в 31 штате. Наибольший прирост произошёл во Флориде, Джорджии, Юте и Нью-Йорке. Другие штаты с развивающимися солнечными рынками, такие как Техас, Иллинойс и Вирджиния, получили значительное увеличение рабочих мест, в то время как штат с самым устоявшимся рынком, Калифорния, потерял работников в данной сфере. Однако на данный момент Калифорния - крупнейший в стране рынок рабочих мест в солнечной энергетике (74 255 на 2019 год).

Табл. 5. 10 штатов с наибольшим приростом рабочих мест на 2019 год.

Штат	Рабочие места в 2018 г.	Рабочие места в 2019 г.	% увеличения рабочих мест с 2018 по 2019 г.	Рабочие места, добавленные с 2018 по 2019 г.
Флорида	10358	12202	17,8%	1843
Джорджия	3696	4798	29,8%	1102
Юта	6045	7107	17,6%	1062
Нью-Йорк	9729	10740	10,4%	1011
Техас	9612	10261	6,7%	649
Иллинойс	4879	5513	13,0%	634
Вирджиния	3890	4489	15,4%	599
Индиана	3114	3600	15,6%	486
Луизиана	2950	3352	13,6%	402
Гавайи	2120	2484	17,2%	364

Источник – The Solar Foundation, 2020³⁴.

³⁴ The Solar Foundation // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thesolarfoundation.org/> (дата обращения: 17.05.2020)

4.2. Проблемы и перспективы развития и внедрения солнечной энергетики в США и Китае (на основе SWOT-анализа)

Автором был составлен SWOT-анализ для отрасли солнечной энергетики США и Китая. SWOT-анализ показывает сильные, слабые стороны, угрозы и возможности для солнечной энергетики обеих стран.

Табл. 6. SWOT-анализ США

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> • Эффективное использование установленных мощностей • Вовлечённость крупных неэнергетических компаний во внедрение солнечной энергетики • Близость расположения промышленных солнечных электростанций к районам потребления электроэнергии 	<ul style="list-style-type: none"> • Несогласованная политика отдельных штатов в отношении солнечной энергетики • Меньший коэффициент использования установленных мощностей по сравнению с традиционными источниками
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> • Установка гелиоцентрических СЭС большой мощности на западе страны • Создание рабочих мест в отрасли солнечной энергетики 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение коэффициента использования установленной мощности СЭС в связи с переизбытком мощностей • Повышение конкуренции со стороны традиционных источников энергии в связи с падением цен • Повышение конкуренции со стороны других ВИЭ в следствие снижения цены и большей эффективности • Проблемы утилизации компонентов солнечных систем после окончания срока службы

Составлено автором

Табл. 7. **SWOT-анализ Китай**

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> • Стимулирование государством участия крупных энергетических компаний в развитии солнечной энергетики • Соответствие сценариям развития отрасли в части географического распределения мощностей 	<ul style="list-style-type: none"> • Удалённость районов с наибольшей солнечной обеспеченностью от основных центров потребления электроэнергии • Недостаточно эффективное использование установленных мощностей • Несоответствие солнечной энергетики планируемым сценариям развития в части превышения ввода установленных мощностей • Дефицит средств в Фонде для финансирования ВИЭ
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> • Создание рабочих мест в отрасли солнечной энергетики 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение коэффициента использования установленной мощности СЭС в связи с переизбытком мощностей • Повышение конкуренции со стороны традиционных источников энергии в связи с падением цен • Повышение конкуренции со стороны других ВИЭ в следствие снижения цены и большей эффективности • Проблемы утилизации компонентов солнечных систем после окончания срока службы

Составлено автором

Среди общих угроз, характерных в целом для мировой солнечной энергетики, выделяются следующие: снижение коэффициента использования установленной мощности СЭС в связи с переизбытком мощностей, повышение конкуренции со стороны

традиционных источников энергии, а также других ВИЭ, проблемы утилизации компонентов солнечных систем после окончания срока службы.

Общая проблема – недоиспользование установленных мощностей. Предприятия энергетики не всегда могут работать на полную мощность из-за ограничительных мер в законодательстве или недостаточной развитости инфраструктуры. Избыток мощностей СЭС также образуется, когда цена на солнечные панели снижается, и при этом существуют государственные льготы. Те, кто устанавливают СЭС, могут воспользоваться ими, извлекая при этом прибыль, энергия от электростанций остаётся невостребованной. Решением проблемы является законодательное регулирование и точное прогнозирование ситуации на рынке.

Конкуренция в отрасли способствует скорейшему развитию, но вместе с тем традиционные источники имеют тенденцию дешеветь в связи с экономическими кризисами, вызванными социальными, политическими или, как показала эпидемия 2020 года, природными причинами. Важный фактор – развитие других типов ВИЭ, главным образом ветровой энергетики, которая на 2020 год дешевле солнечной в обеих странах. У СЭС и ВЭС, как правило, разная локализация, но конкуренция иногда присутствует. Вопрос утилизации компонентов солнечных систем на данный момент не стоит остро, поскольку отрасль молодая и оборудование, массово устанавливающееся с 2010-х годов, имеет длительный срок службы (около 30 лет). На данном этапе утилизация больших объёмов не требуется. Однако по мере устаревания оборудования будет возникать всё больше проблем, решением которых необходимо озаботиться сегодня. Отходы СЭС не так опасны, как ядерные, но воздействуют на окружающую среду сильно. На 2020 год не существует экологически приемлемого способа утилизации. Для решения проблемы необходимо стимулировать проведение исследований, поощрять деятельность компаний в данной сфере.

При рассмотрении слабых сторон США стоит обратить внимание на политику в области ВИЭ. Стандарты сильно различаются по нескольким элементам, отсутствуют общие показатели для страны в целом. Решение о политике по ВИЭ принимает каждый штат в отдельности, в некоторых отсутствуют стандарты и цели. Во многих штатах стандарты измеряются процентом розничных продаж электроэнергии, другие штаты оперируют показателями установленной мощности, процентом пикового спроса. Таким образом, политика в целом не согласована, что затрудняет общую оценку, способствует расслоению по признаку степени развитости возобновляемой энергетики. Коэффициент

использования установленных мощностей в США выше, чем в Китае, однако по сравнению с традиционными источниками остаётся низким.

У Китая слабых сторон намного больше. Основная проблема для солнечной энергетики – удалённость от районов потребления. Мощности устанавливаются согласно плану в западных и северных районах страны, но основной потребитель сосредоточен в восточных. У КНР существуют проблемы в технологии передачи электроэнергии на большие расстояния, в результате происходит её потеря. Эффективность использования мощностей оставляет желать лучшего. Чтобы улучшить ситуацию, следует отрегулировать государственную политику для недопущения использования субсидий в целях извлечения прибыли, улучшить качество панелей либо сделать ставку на развитие систем хранения электроэнергии, которые на текущий момент дешевле аналогичных в США. Несоответствие сценариям развития – проблема плановой экономики в целом, что находит место и в области энергетики в виде превышения установленных мощностей над плановыми показателями, дефицита средств в Фонде для финансирования ВИЭ. Решением должно стать увеличение эффективности планирования, что во многом зависит от уровня квалификации кадров, ответственных за принятие программ.

Из общих возможностей необходимо выделить создание рабочих мест в высокотехнологичной отрасли. Солнечная энергетика требует кадры высокой квалификации, следовательно, она способствует повышению качества рабочей силы. Другой важный аспект, уже отмечавшийся ранее, это распределённый характер генерации. Возможность создания множества малых солнечных систем для собственного пользования и подключения к сети повышает устойчивость, способствует увеличению занятости во многих регионах. Для США крайне благоприятны наличие свободных площадей в наиболее солнечных штатах и близость к районам потребления электроэнергии. В случае необходимости возможно создание крупных СЭС гелиоцентрической технологии с большей эффективностью производства, а главное, передачи энергии, нежели в Китае.

4.3. Перспективные направления развития и внедрения солнечной энергетики для России

На первый взгляд кажется, что возобновляемая энергетика не нужна стране, имеющей в большом количестве традиционные источники (в том числе относительно чистый по экологическим соображениям природный газ), поскольку Россия полностью обеспечивает себя и поставляет ресурсы на экспорт, атомная и гидроэнергетика хорошо развиты. Встаёт вопрос о том, уместно ли использовать что-то «дополнительное». Причин здесь несколько, и их необходимо рассмотреть. Во-первых, солнечная энергетика на основе PV технологии за последние годы стала ключевым сектором мировой энергетики. Глобальные инвестиции в неё выше, нежели в отдельно взятые традиционные отрасли или суммарно в нефтегазовую отрасль и составляют более 140 млрд \$/год (World Energy Investment, 2019). Во-вторых, на примере Китая и США видно, что возобновляемые источники всё больше теснят традиционные, цена на оборудование опускается всё ниже, энергия становится не просто дешевле, но и достигает наименьших значений стоимости по сравнению со всеми остальными источниками. Кроме того, активность в промышленности – это вклад в экономику страны, её ВВП. Производство фотоэлементов и панелей – наукоёмкая область, технологически сложный процесс, куда вовлекается широкий круг агентов из различных отраслей и научных институтов. Организация сложного производства способствует увеличению потенциала экономического роста, привлекая всё новых участников при создании производственных цепочек. Это способ увеличения занятости, поднятия качества кадров. Перспективы развития очевидны, поэтому России нельзя оставаться в стороне от основного тренда, чтобы не попасть в зависимость от иностранных технологий и продуктов. Солнечная энергетика уже сегодня может существовать без государственной поддержки, однако лишь в странах, где она развивается достаточно давно, и фактически можно говорить о сформировавшемся солнечно-энергетическом комплексе, который обслуживается тремя секторами экономики, имеет чёткую географическую обусловленность размещения и встроен в общую энергетическую систему.

Россия, несмотря на суровые климатические условия, имеет возможности для успешного внедрения фотовольтаической солнечной энергетики в некоторых регионах. Среди них не только южные, получающие в связи с географическими условиями больше солнечной радиации, но также области с резко-континентальным климатом, где наблюдается минимум осадков и достаточно большая продолжительность солнечного сияния. Примером последних является Якутия, где получает распространение фотовольтаика в

сочетании с дизельной генерацией для обеспечения энергией населённых пунктов, не подключённых к единой энергетической системе.

В целях поддержки развития ВИЭ в России была создана производственная компания ООО «Солар Кремниевые технологии», начавшая выпуск моно- и поликристаллических пластин. Сейчас производство составляет 220 МВт/год. Компания создала 400 рабочих мест³⁵. С 2009 года ещё одним игроком на рынке стала компания ООО «Хевел», занимающаяся исследованиями в области фотовольтаики, производством панелей и поставками в регионы России и за рубеж. С 2017 года она владеет собственной гетероструктурной технологией, являющейся гибридом тонкоплёночной и кристаллической технологий производства солнечных элементов и представленной на мировом рынке ограниченным числом компаний. Объём производства составляет 340 МВт/год³⁶. Это единственный вертикально-интегрированный холдинг в области солнечных технологий в России. Суммарно объём поставок российских солнечных модулей за границу незначителен, компании занимают доли 1% мирового рынка. С учётом падения цены на компоненты солнечных систем, перспективным вариантом можно рассматривать экспорт услуг, т.е. строительство российскими компаниями объектов генерации в других странах.

Перспективным направлением, которые следует развивать, являются технологии фотовольтаики 3-го поколения, основанные на использовании в элементах полимерных плёнок или материала перовскит. Стоит разрабатывать технологию получения электроэнергии с помощью терморadiaционных ячеек.

Электростанции – капиталоемкие предприятия, поэтому необходимы меры государственной поддержки. В Китае и США основные механизмы – система налоговых кредитов и специальные тарифы. Из опыта рассмотренных стран видно, что государственные субсидии необходимы на начальном этапе. По мере развития новой отрасли, создания собственной производственной базы, инфраструктуры, построения логистических цепочек степень необходимости государственной поддержки уменьшается, и солнечная энергетика становится конкурентоспособной. Важно на государственном уровне принимать стратегии развития возобновляемых источников энергии.

³⁵ Солар кремниевые технологии // [Электронный ресурс]. URL: <https://sst-rus.com/> (дата обращения: 21.05.2020)

³⁶ Группа Компаний Хевел // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hevelsolar.com/> (дата обращения: 22.05.2020)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной исследовательской дипломной работе были рассмотрены особенности организации, развития и внедрения солнечной энергетики в двух ведущих мировых державах – США и КНР. У каждого из этих крупнейших игроков на рынке имеются свои преимущества, способствующие скорейшему формированию солнечно-энергетического комплекса или, наоборот, недостатки, сдерживающие развитие последнего.

Технологии солнечной генерации, несмотря на статус новых, который часто им приписывается, имеют длинную историю становления. Первые удачные опыты получения электричества от солнца были проведены ещё в XIX веке, и с тех пор неоднократно менялись материалы фотовольтаических ячеек, увеличивался КПД. Получив стимул к совершенствованию в виду космической гонки, начавшейся в 60-х годах, фотоэлектрические технологии вышли на рынок гражданской продукции и с тех пор уверенно заняли своё место в ряду возобновляемых источников энергии. С начала XX века происходит развитие концентрирующей солнечной энергетики.

Мировой опыт говорит о том, что данные технологии наиболее перспективны сегодня. Первый вывод, который можно сделать на основе изученного материала – отрасль достигла такой высокой ступени развития, что внутри каждой технологии появилось множественное деление на способы организации и более мелкое дробление по поколениям материалов, что еще не наблюдалось в начале 2000-х годов. КПД фотовольтаических ячеек может достигать рекордных 27%, но на данный момент технология, позволяющая добиваться таких больших значений, не вышла в массовое производство.

Второй вывод касается солнечно-энергетического комплекса, практически сформированного в США и продолжающего своё формирование в Китае. И в одной, и в другой стране существует вся цепочка создания добавленной стоимости, начиная от производства материалов и заканчивая обслуживанием, солнечные электростанции уже встроены в общую энергетическую систему, однако степень эффективности их работы и передачи энергии разнится. Развитие солнечной энергетики идёт ускоренными темпами со второй половины 2010-х. Причинами этому служат снижение более чем на 70% цены фотоэлектрических модулей, пространственная экспансия компаний-производителей, стадия зрелости, достигнутая кремниевыми технологиями 1-го поколения, появление на рынке фотоэлектрических модулей на базе технологий 2-го поколения.

Солнечная энергетика – высокотехнологичная инновационная отрасль, привлекательная для инвестирования. Постоянное увеличение инвестиций в отрасль позволяет ей выйти из статуса второстепенного источника энергии и постепенно превратиться в один из ведущих. На основе материалов можно прийти к заключению, что такой переход наблюдается уже сегодня. Примером служат инвестиции, превышающие суммарно денежные вливания в отрасль традиционных источников, а также большой прирост установленных мощностей.

Суммарно на Китай и США приходится 267,8 ГВт установленных мощностей СЭС, что составляет 45% от всех мировых. В гелиотермальной энергетике лидирует США в виду более близкого расположения к районам потребления большого количества электроэнергии и развитой инфраструктуры. Для Китая остро стоит вопрос о передаче электричества из наиболее богатых солнцем регионов, плохо развитых и с малочисленным населением в регионы восточные при минимальных потерях в электросетях.

Важным моментом является сильное падение стоимости электроэнергии от солнца. Показатель LCOE значительно снизился в обеих странах за последние годы в виду таких факторов как увеличение срока службы панелей, увеличение КПД преобразователей энергии, государственное стимулирование. В США и Китае солнечная энергетика стала не просто конкурентоспособной по сравнению с традиционной, но также одной из самых дешёвых даже в отсутствии субсидий. Основной конкурент для солнечной генерации в энергетике Китая – генерация на угле, которая остаётся привлекательной по причине низкой цены. В США конкурентами служат парогазовые установки, стоимость энергии от которых также низкая. Преимущество Китая – дешёвые системы хранения энергии (в отличие от более дорогих в США) в виду наличия производственной базы, налаженной системы логистики и разрешений на использование вредных химических веществ при производстве, т.е. менее развитой базой экологических нормативов.

Вывод относительно территориальной структуры отрасли в Китае и в США следующий: она достаточно неоднородна в обеих странах. В США её можно назвать полицентрической применительно к регионам, поскольку выделяются регионы запада и востока, на которые приходится большая часть установленных мощностей. По выработке лидируют юго-западные и южные штаты, особенно заметна на общем фоне Калифорния. Для Китая более характерно деление на север и юг, а также один восточный центр с наибольшими установленными мощностями, преимущественно распределённой генерации, но при достаточно высокой доле централизованной. Основным фактором размещения на востоке Китая – потребительский, на западе и севере – природный (т.е.

наибольшее количество солнечного излучения) и государственное стимулирование. Главные центры в Китае – провинции Хэбэй, Шаньдун и Цзянсу. В Цзянсу находятся штаб-квартиры ведущих корпораций солнечной энергетики и производственные базы. Главные центры в США – Калифорния, Невада, Аризона, Техас, Флорида и Северная Каролина. Учитывая плановый характер экономики КНР, следует сделать вывод о том, что географически размещение отрасли совпадает с планом, однако по объёму вводимых мощностей наблюдается значительное превышение.

Существенный фактор для успешности реализации проектов в рассмотренных странах - государственная политика. Степень проработанности системы государственной поддержки отрасли на разных иерархических уровнях достаточно хорошая в обеих странах. США и Китай передают полномочия в принятии решений относительно ВИЭ на уровень субъектов. В целом состояние области НИОКР в сфере солнечных технологий лучше в США. Американские компании – лидеры по инвестициям в исследования относительно полученной выручки.

При внедрении солнечной энергетики в России необходимо обращать внимание на зарубежный опыт использования экономических стимулов в виде специальных тарифов или налоговых льгот, планирования объёма ввода установленных мощностей и корректировки политики при несовпадении реальных объёмов запланированным. На российском рынке на 2019 год представлено небольшое число компаний-производителей солнечных модулей, существует только один вертикально-интегрированный холдинг.

ЛИТЕРАТУРА

Литературные источники:

1. Акимова. В.В. (2018) Территориальная организация солнечно-энергетического комплекса стран мира, автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата географических наук / Акимова В.В., МГУ им. Ломоносова, географический факультет, Москва, 2018 г., 28 с.
2. Бобыль А.В. (2018) Методы оценки экономической эффективности солнечных электростанций // Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП, 2018. Вып. 97
3. Виссарионов В.И. Солнечная энергетика: учебное пособие для ВУЗов / В.И.Виссарионов, Г.В.Дерюгина, М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.
4. Германович В. (2014) Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. – СПб: Наука и Техника, 2014. – 320 с.
5. Мак-Вейг Д. (1981) «Применение солнечной энергии» / ред. Ежков А.В., М.: Энергоиздат, 1981, 216 с.
6. Ожегова Л.А. (2014) Пространственные особенности развития солнечной энергетики: глобальный и региональный аспекты // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского. Серия «География», Том 27(66), №1, 2014. С. 68-82
7. Пачурин Г.В. (2017) Экологическая оценка возобновляемых источников энергии: учебное пособие / под. Ред. Г.В.Пачурина. – 2-е изд. – СПб: Издательство «Лань», 2017. – 236 с.
8. Седова Ж.И. (2019) Правовые основы общего энергетического рынка: учебное пособие. – М.: РГУП, 2019. – 151 с.
9. Удалов С.Н. (2014) Возобновляемые источники энергии: учеб. Пособие / С.Н.Удалов. – 3-е изд., перераб. И доп. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2014. – 459 с.
10. Финиченко А.Ю. (2017) Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / А.Ю.Финиченко, А.П.Стариков. - Омский гос. ун-т, 2017, 83 с.
11. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии (2018). – Deloitte&Touche Tohmatsu. Deloitte Insights, 2018. – 38 p.

12. Chung-Ling, John (2011) Concentrating solar thermal power as a viable alternative in China's electricity supply / *Energy Policy* 39 (2011) 7622–7636
13. Gandenberger, Carsten (2018) China's trajectory from production to innovation: Insights from the photovoltaics sector, Working Paper Sustainability and Innovation // Fraunhofer ISI, Karlsruhe, No. S03/2018, 2018. – 32 p.
14. Jager-Waldau A. (2009) PV status report 2009: Research, Solar Cell Production and Market Implementations of Photovoltaics – European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, Italy, 2009. – 118 p.
15. Korsnes, Marius (2020) Wind and solar energy transition in China / *Routledge Explorations in Energy Studies*, 2020. - 207 p.
16. Pernick, Ron. The Clean Tech Revolution: The next Big Growth and Investment Opportunity / R.Pernick, C.Wilder. - Harper Business; 1st edition, 2007. – 320 p.
17. China Renewable Energy Outlook 2019 (2019). - Energy Research Institute of Academy of Macroeconomic Research, 2019. – 251 p.
18. Global-Solar-Report-May-2018 (2018). – Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA), 2018. – 52 p.
19. Lazard's levelized cost of energy analysis — version 12.0 (2018). - Financial advisory and asset management firm Lazard, 2018. – 20 p.
20. Renewable Energy and Jobs Annual Review 2019 (2019). – International Renewable Energy Agency, 2019. – 40 p.
21. World Energy Investment 2019 (2019). – International Energy Agency, 2019. – 176 p.
22. 10th Annual National Solar Jobs Census 2019 (2019). – The Solar Foundation, 2019. – 55 p.

Интернет-источники:

23. Всемирная организация интеллектуальной собственности. Журнал ВОИС. Патентование в области возобновляемой энергетики: последние тенденции // [Электронный ресурс]. URL: https://www.wipo.int/wipo_magazine/ru/2020/01/article_0008.html (дата обращения: 10.05.2020)

24. Группа Компаний Хевел // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hevelsolar.com/> (дата обращения: 22.05.2020)
25. Глобальный рынок возобновляемой энергетики // [Электронный ресурс]. URL: <http://renewnews.ru/usa/> (дата обращения: 06.03.2020)
26. Китайский Совет по электроэнергетике // [Электронный ресурс]. URL: <http://english.cec.org.cn/> (дата обращения: 02.05.2020)
27. Национальный исследовательский институт «Высшая школа экономики» // [Электронный ресурс]. URL: <https://energy.hse.ru/Wiie> (дата обращения: 02.05.2020)
28. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» // [Электронный ресурс]. Институт энергетики. URL: <https://energy.hse.ru/Wiie> (дата обращения: 17.04.2020)
29. Солар кремниевые технологии // [Электронный ресурс]. URL: <https://sst-rus.com/> (дата обращения: 21.05.2020)
30. Электронная книга «Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире» // [Электронный ресурс]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-1/2-1-2> (дата обращения: 04.11.2019)
31. Asia Europe Clean Energy (Solar) Advisory (AECEA) // [Электронный ресурс]. URL: www.aecea.com (дата обращения: 15.04.2020)
32. Bloomberg New Energy Finance // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bloomberg.com> (дата обращения: 16.03.2020)
33. BNEF. Scale-up of Solar and Wind Puts Existing Coal, Gas at Risk // [Электронный ресурс]. URL: <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/> (дата обращения: 15.05.2020)
34. China Electricity Council (CEC) // [Электронный ресурс]. URL: <http://english.cec.org.cn/No.110.1941.htm> (дата обращения: 15.04.2020)
35. China Energy Portal // [Электронный ресурс]. URL: <https://chinaenergyportal.org/en/2019-pv-installations-utility-and-distributed-by-province/> (дата обращения: 15.04.2020)

36. GlobalData - data analytics and consulting company // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globaldata.com/chinas-jinkosolar-preserves-its-leading-global-solar-pv-module-shipment-rank-in-2019/> (дата обращения: 12.05.2020)
37. International Energy Agency (IEA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 16.05.2020)
38. International Renewable Energy Agency (IRENA) // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irena.org> (дата обращения: 17.05.2020)
39. National Bureau of Statistics of China // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stats.gov.cn/english/> (дата обращения: 15.04.2020)
40. National Conference of State Legislatures // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncsl.org/research/energy/solar-policy-toolbox.aspx> (дата обращения: 11.03.2020)
41. NREL. Direct Normal Irradiance // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nrel.gov/gis/solar.html> (дата обращения: 19.03.2020)
42. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energy.gov/eere/> (дата обращения: 27.02.2020)
43. PV Tech. R&D spending analyses of 21 PV manufacturers // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pv-tech.org/editors-blog/rd-spending-analysis-of-21-pv-manufacturers> (дата обращения: 15.04.2020)
44. PV Tech // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pv-tech.org> (дата обращения: 18.05.2020)
45. RenEn. Инновации и передовые технологии в энергетике // [Электронный ресурс]. URL: <https://renen.ru> (дата обращения: 20.05.2020)
46. RenewableEnergyWorld - publisher of renewable energy news and information on solar energy // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.renewableenergyworld.com> (дата обращения: 15.05.2020)
47. Solar Gis // [Электронный ресурс]. URL: <https://solargis.com/> (дата обращения: 12.04.2020)
48. SEIA. Major Solar Project List, location map // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seia.org/research-resources/major-solar-projects-list> (дата обращения: 09.05.2020)

49. SEIA. Solar and Agricultural Land Use // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seia.org/sites/default/files/2019-11/Solar%20Ag%20Land%20Usage%20FactSheet%202019-PRINT.pdf> (дата обращения: 23.04.2020)
50. SEIA. Solar Industry Research Data // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seia.org/solar-industry-research-data> (дата обращения: 20.05.2020)
51. SEIA. Solar Means Business // [Электронный ресурс]. URL: <https://solarmeansbusiness.com/> (дата обращения: 20.05.2020)
52. The Solar Foundation // [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thesolarfoundation.org/> (дата обращения: 17.05.2020)
53. Wiki-Solar. The authority on utility-scale solar power // [Электронный ресурс]. URL: <https://wiki-solar.org/> (дата обращения: 18.05.2020)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Табл. 1. Солнечные электростанции США технологии CSP мощностью 50 МВт и более, находящиеся на 2019 год в эксплуатации.

№	Название СЭС	Установленн ая мощность, МВт	Выработк а электроэн ергии в год, ГВт*ч/год	Система аккумулятор ов, емкость хранения, часов	Год ввода в эксплуат ацию	Отведённ ая площадь, кв. км	Рабочие места (при строительст ве; при эксплуатаци и)	Разработ чик	Собственн ик	Расположени е
1	Solana Generating Station (Solana)	250	944	6	2013	7,8	1700;60	Abengoa Solar, Abener- Teyma	Abengoa Solar	Финикс, Аризона
2	Genesis Solar Energy Project	250	580	нет	2014	7,9	800;47	Genesis Solar; NextEra Energy	Genesis Solar	Блайт, Калифорния
3	Ivanpah Solar Electric Gener- ating System	377	1079	нет	2014	14,16	1000;86	BrightSo urce Energy	NRG Ener- gy; BrightSourc e Energy; Google	Пустыня Мохаве, Калифорния
4	Mojave Solar Project	250	600	нет	2014	7,14	830;70	Mojave Solar, Abengoa Solar	Mojave Solar	пустыня Мохаве, Калифорния

5	Solar Electric Generating Station IX (SEGS IX)	80	н/д	н/д	1990	н/д	н/д	Luz, NextEra	NextEra	пустыня Мохаве, Калифорния
6	Solar Electric Generating Station VIII (SEGS VIII)	80	н/д	н/д	1989	н/д	н/д	Luz, NextEra	NextEra	пустыня Мохаве, Калифорния
7	Martin Next Generation Solar Energy Center (MNGSEC)	75	155	нет	2010	2,02	1100; н/д	Florida Power & Light Co., Lauren Engineers	Florida Power & Light Co.	Индианаун, Флорида
8	Crescent Dunes Solar Energy Project (Tonopah)	110	500	10	2015	6,47	600;45	SolarReserve, ACS Cobra	SolarReserve	Тонопа, Невада
9	Nevada Solar One (NSO)	72	134	н/д	2007	1,62	800;30	Acciona Solar Power, Lauren Engineering	Acciona Energía	Боулдер Сити, Невада

Источники – NREL, 2020, сайты СЭС

Табл. 2. Солнечные электростанции Китая технологии CSP мощностью от 50 МВт и более.

№	Название СЭС	Установленная мощность, МВт	Выработка электроэнергии в год, ГВт*ч/год	Система аккумуляторов, емкость хранения, часов	Год ввода в эксплуатацию	Статус	Разработчик	Собственник	Расположение
1	Chabei Molten Salt Parabolic Trough project	64	н/д	16	-	В разработке	SkyFuel	Zhongyang Zhangjiaku Chabei	Хэбэй
2	Dacheng Dunhuang Molten Salt Fresnel project	50	214	13	2019	В эксплуатации	Lanzhou Dacheng Technology	Lanzhou Dacheng Technology	Ганьсу
3	Delingha Thermal Oil Parabolic Trough project	50	н/д	9	2018	В эксплуатации	CGN Delingha Solar Energy	CGN Delingha Solar Energy	Цинхай
4	Gansu Akesai Molten Salt Trough project	50	260	15	-	В разработке	Tianjin Binhai Concentrating Solar Power Investment	Shenzhen Jinfan Energy Technology	Ганьсу

5	Golden Tower Molten Salt project	100	н/д	8	-	В разработке	SunCan	China Three Gorges New Energy	Цзиньта, Ганьсу
6	Golmud	200	1120	15	2018	В эксплуатации	Qinghai CSP Electric Power Group	н/д	Голмуд, Цинхай
7	Gulang Thermal Oil Parabolic Trough project	100	н/д	7	-	В разработке	Changzhou Royal Tech Solar Thermal Equipment	OECEP Gansu Weiwu Solar Technology	Увэй, Ганьсу
8	Hami CSP Project	50	н/д	8	2019	В эксплуатации	Supcon Solar	Northwest Electric Power Design Institute	Хами, Синьцзян-Уйгурский АР
9	Huanghe Qinghai Delingha DSG Tower CSP Project	135	628	3,7	2017	В настоящее время не работает	BrightSource Energy	Huanghe Hydropower Development	Цинхай
10	Luneng Haixi Molten Salt Tower	50	160	12	2019	В эксплуатации	Luneng Qinghai Guangheng New Energy	Luneng Group	Цинхай

11	Qinghai Gonghe CSP Plant	50	н/д	6	2019	В эксплуатации	Supcon Solar	Northwest Engineering	Гунхэ, Цинхай
12	Rayspower Yumen Thermal Oil Trough project	50	н/д	7	-	В разработке	Yumen Zhongshang mingde CSP	Rayspower Energy Group	Ганьсу
13	Shangyi DSG Tower CSP project	50	н/д	4	-	В разработке	Institute of Electrical Engineering of CAS	DaHua Engineering Management	Шаньси, Хэбэй
14	Shouhang Dunhuang Phase II	100	390	11	2018	В эксплуатации	Beijing Shouhang IHW, SunCan	Beijing Shouhang IHW	Ганьсу
15	SUPCON Delingha Tower	50	146	7	2018	В эксплуатации	SUPCON	SUPCON	Цинхай
16	Urat Fresnel CSP project	50	н/д	6	2018	В настоящее время не работает	Huaneng North United Power	Huaneng North United Power	Внутренняя Монголия
17	Urat Royal Tech Thermal Oil Para-	100	350	10	2020	В эксплуатации	Changzhou Royal Tech Solar Ther-	Inner Mongolia Royal Tech New	Внутренняя Монголия

	bolic Trough project						mal Equip-ment	Energy	
18	Yumen Mol-ten Salt Tower CSP project	100	н/д	10	-	В настоящее время не работает	SunCan	Beijing Guohua Electric Power	Ганьсу
19	Yumen Mol-ten Salt Tower CSP project	50	н/д	6	-	В разработке	Shanghai Parasol Renewable Energy Company and Jiangsu Xincheng CSP	Yumen Xinneng Thermal Power	Ганьсу
20	Yumen Thermal Oil Trough CSP project	50	н/д	7	-	В разработке	Royal Tech CSP Limited	Royal Tech CSP Limited	Ганьсу
21	Zhangbei DSG Fresnel CSP project	50	н/д	14	-	В настоящее время не работает	Beijing Tera-Solar Photo-thermal Technologies	Zhangbei Huaqiang Zhaoyang	Чжанбэй, Хэбэй

Источник – NREL, 2020